

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA NAVAL

RAFAEL BACHTOLD PIEPER

DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA PARA GERAÇÃO DE TABELA DE
COTAS DE VELEIROS

Joinville

2018

RAFAEL BACHTOLD PIEPER

DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA PARA GERAÇÃO DE TABELA DE
COTAS DE VELEIROS

Trabalho apresentado como requisito para
obtenção do título de bacharel no Curso de
Graduação em Engenharia Naval do Centro
Tecnológico de Joinville da Universidade
Federal de Santa Catarina.

Orientador: Dr. Eng. Ricardo Aurélio Quinhões
Pinto.

Joinville

2018

RAFAEL BACHTOLD PIEPER

DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA PARA GERAÇÃO DE TABELA DE
COTAS DE VELEIROS

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia Naval na Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Banca Examinadora:

Dr. Eng. Ricardo Aurélio Quinhões Pinto
Presidente/Orientador

Dr. Eng. Thiago Pontin Tancredi
Membro
Universidade Federal de Santa Catarina

Eng. Esp. Luiz Eduardo Bueno Minioli
Membro
Universidade Federal de Santa Catarina

Dr. Eng. Jose Henrique Sanglard
Membro
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Dedico este trabalho a meus pais,
Rita de Cássia Bachtold e
João Alberto Pieper.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço aos meus anjos João Chido Pieper, Jeanete W. B. Pieper, Acacio Bachtold e Etelvina Bachtold, que com certeza estão na outra dimensão me dando todo o suporte para esta realização e as demais que estão por vir.

A minha mãe Rita de Cássia Bachtold, que dedicou com todas as forças para que fosse possível meu conforto, o lar e minhas conquistas, com seu apoio de mãe, seus braços confortáveis e suas palavras sagradas.

Ao meu pai João Alberto Pieper, que sempre me deu suas palavras positivas, proporcionou suporte para atingir meus méritos, sempre esteve ao meu lado quando as emoções me deixavam confuso e sempre esteve de braços abertos.

A Marilda Mercedes, que proporcionou palavras de confiança e ajuda em momentos difíceis.

Aos meus padrinhos Mara Rúbia Bachtold e Arnold Erich Pieper, que mesmo distante, estiveram na minha caminhada, auxiliando quando necessário e celebrando as vitórias.

A toda minha família.

Agradeço aos meus amigos, companheiros de jornada, de basquete, de viagens, da vida, que sempre levarei no coração, Guilherme Secatto, Viviane Medeiros, Taiuê Hoffmann, Lucas Menezes, Douglas Dalsenter, Ícaro Orlandi, Marcelo Weinfurter, Victor Souza, Vinícius Souza, Gabriella Cercal, Bruna Kelly, Bernardo Phillip, Jacy Fonseca, Mario Edir, Isabel Silveira.

Aos amigos, colegas e equipe de grandes projetos realizados na universidade, Henrique Luz, Paola Bertolo, Aurélio Busnardo, Nicolas Cavalheiro.

A minha namorada Mariane Duarte, pelo apoio, paciência e suporte em todos os momentos dessa reta final na universidade.

Ao meu orientador Ricardo Aurélio Quinhões Pinto, por auxiliar no desenvolvimento deste projeto, pelas conversas e pela paciência no decorrer deste trabalho.

Ao Horácio Carabeli pelo grande auxílio para a realização deste trabalho.

Aos meus supervisores de estágio Vagner Domingues e Luiz Dantas, pelo ensinamento adicional à universidade, ensinando o dia-a-dia na construção naval.

Aos professores e mestres que eu tive contato e repassaram seu conhecimento visando formar grandes profissionais, Thiago Pontin Tancredi, Luiz Eduardo Bueno Minioli, Janaina

Garcia, Tatiana Garcia, Alexandre Mikowski, Claudimir Antônio Carminatti, Lucas Weihmann, André Luís Condino Fugarra, Antônio de Assis Brito Neto, Gabriel Benedet Dutra, James Schipmann Eger, Jorge Luiz Goes Oliveira, Kleber Vieira de Paiva, Luis Fernando Peres Calil, Catia Regina Silva de Carvalho Pinto, Luis Orlando Emerich, Maurício Porath, Modesto Hurtado Ferrer, Adriano Fagali de Souza, Rafael de Camargo Catapan, Rafael Gallina Delatorre, Rafael Machado Casali, Alexandre Miers Zobot, Roberto Simoni, Sérgio Junichi Idehara, Talita Sauter Possamai, Tiago Vieira da Cunha, Vanessa Aparecida, Vitor Takashi Endo, Vanina Macowski Durski Silva, Viviane Lilian Soethe, Hugo Larico, Derce Recouvreux, Evandro Cardozo, Yesid Ernesto Asaff Mendoza, Silvia Taglialenha, Maria Simone, Cristiano Vasconcellos Ferreira, Thiago Fiorentin, Marcos Rabelo e todos os demais professores que de alguma forma pude absorver um pouco de seu conhecimento.

Ao Universo.

“Quando o ser humano quer representar, de qualquer forma visual, uma imagem de prazer e de qualidade de vida, coloca a imagem de um veleiro.”
(KMENTT JUNIOR, 2007).

RESUMO

O projeto de uma embarcação tem como premissa o cumprimento de uma missão. No caso específico de veleiros, existe uma nítida distinção entre barcos destinados a regata e ao cruzeiro. A diferenciação entre estas duas funções, influencia diretamente na geometria de casco, a qual pode ter difícil definição em fases iniciais do projeto. O grande leque de possibilidades de linhas de casco gera incertezas na definição da melhor geometria para cumprir a missão desejada. Poucas ferramentas de desenvolvimento de cascos possuem como parâmetro de entrada proposta da missão do veleiro, seja para cruzeiro ou regata. Desta forma, o presente trabalho busca o desenvolvimento de uma ferramenta para gerar uma Tabela de Cotas de veleiros, tendo como parâmetros de entrada do usuário as principais dimensões desejadas e sua missão. O trabalho foi realizado com auxílio do programa Microsoft EXCEL e sua aplicação Visual Basic Application (VBA), com implementação de métodos de equacionamento das curvas paramétricas da embarcação e análise de coeficientes. A ferramenta desenvolvida, possibilita, a partir das dimensões propostas pelo usuário, e pela definição de sua missão, a geração de uma tabela de cotas em formato “txt”, para que seja possível sua posterior exportação para modelagem do casco em programas de modelagem geométrica. A ferramenta apresenta ao usuário valores hidrostáticos de seu projeto e uma prévia de suas linhas de casco. Ao comparar os resultados com valores presentes na literatura e com o projeto de uma embarcação real de regata oceânica, conclui-se que a ferramenta “Ventum” poderá ser utilizada para o desenvolvimento inicial de projetos de veleiros em meio acadêmico e de pesquisa. A ferramenta ficará disponível para baixar no site do LabNaval - Laboratório de Modelagem e Construção Naval do Centro Tecnológico de Joinville da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC-CTJ).

Palavras-chave: Linhas de casco. Tabela de cotas. Veleiro. Cruzeiro. Regata

ABSTRACT

The design of a vessel is premised on its operation needs. In the specific case of a sailing yachts, there is a clear distinction between cruising or racing yachts. This distinction has direct influence on its hull geometry, which may be difficult to define on its initial phases on the project. The wide range of possibilities for hull lines generates uncertainties of the best geometry to achieve its main purpose. Few development tools have as entry parameter the purpose of the sailing yachts, whether be cruise or racing one. Thus, this study works on the development of a tool to generate offset table of sailing yachts, having as entry information the main dimensions and its operation purpose. The tool was programmed using the Microsoft Excel and its application Visual Basic for Application (VBA), implementing the numeric calculation of the parametric curves of the ship and its coefficients analysis. The tool enables to save the offset table as a “txt” file, based on the yacht’s dimensions, so the user may be able to import into a geometrical modeling tool to generate the surface and follow with his project. This tool shows to the user the main hydrostatics values of the hull and a preview of the hull form. Comparing the results with values from literature and with a design of a real offshore racing yachts value, the conclusion is that this tool “Vantum” may be used for development of the initial design of sailing yachts on academic and research environment. The tool will be available for download on the website of LabNaval-Naval Modelling and Construction Laboratory of the Technological Centre of Joinville – Federal University of Santa Catarina (UFSC-CTJ).

Keywords: Hull forms. Table of offsets. Sailing yacht. Racing Yachts. Cruise Yachts

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Espiral de projeto para um veleiro.....	17
Figura 2 - Funcionamento da ferramenta	18
Figura 3 - Principais componentes em um veleiro	19
Figura 4 - Principais dimensões de um veleiro	22
Figura 5 - Ilustração de LCF	25
Figura 6 - Ilustração de LCB.....	25
Figura 7 - Regra dos trapézios.....	26
Figura 8 - Regra de Simpson.....	27
Figura 9- Plano de Alto de um veleiro	29
Figura 10 - Plano de linhas d'água de um veleiro	29
Figura 11 - Plano de Balizas de um veleiro.....	30
Figura 12 - Curva de áreas seccionais	31
Figura 13 - Veleiro Cutter	33
Figura 14 - Veleiro Sandbagger	34
Figura 15 - Comparação das classes CCA e RORC.....	35
Figura 16 - Configuração com leme e quilha separados	35
Figura 17 - Casco típico da classe IOR	36
Figura 18 - Processo de certificação ORC	37
Figura 19 – Plano de linhas de um veleiro de cruzeiro	38
Figura 20 – Plano de linhas de um veleiro de competição	39
Figura 21 - Formato de tabela de cotas	41
Figura 22 - Etapas de cálculo da ferramenta	43
Figura 23 - Divisão de uma baliza em 10 pontos no espaço	44
Figura 24 - Nuvem de pontos obtida	45
Figura 25 - Entrada de dados da ferramenta.....	45
Figura 26 - Seleção do perfil de navegação da embarcação.....	46
Figura 27 - Botão Calcular	46
Figura 28 – Cálculo do Plano de Flutuação	50
Figura 29 - Área da baliza submersa	53
Figura 30- Curva SAC calculada.....	54
Figura 31 - Linhas do casco	58

Figura 32 - Botão salvar tabela de cotas.....	60
Figura 33 - Arquivo txt da Tabela de Cotas	61
Figura 34 - Resultado gráfico da ferramenta.....	61
Figura 35 - Visão geral da ferramenta.....	62
Figura 36 - Menu ajuda	64
Figura 37 - Informativo de erro	66
Figura 38 – Resultados hidrostáticos (YD-41).....	69
Figura 39 - Comparação do plano de linha d'água (YD-41)	69
Figura 40 - Comparação do plano de linha d'água em diferente calado.....	70
Figura 41 – Comparação de Seção Mestra (YD-41)	70
Figura 42 - Comparativo SAC (YD-41).....	71
Figura 43 - Análise de Curvatura do casco (YD-41).....	72
Figura 44 – Modelo VO70	72
Figura 45 - Resultados hidrostáticos (VO70).....	74
Figura 46 – Comparação do plano de linha d'água (VO70)	74
Figura 47 - Comparação da Seção mestra (VO70).....	75
Figura 48 - Comparativo SAC (VO70)	76
Figura 49 - Análise de curvatura entre casco VO70 e de Resultado da ferramenta proposta	77

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Definições das partes principais de um veleiro.....	20
Quadro 2 – Ilustração dos coeficientes de forma	23

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados de cálculo	47
Tabela 2 - Cálculo de B_{wl} para uma seção para $T=0,40$ m	47
Tabela 3 – Desenvolvimento da linha d'água	49
Tabela 4 - Área do plano de Flutuação e Centro de Flutuação	51
Tabela 5 - Cálculo de área da baliza.....	52
Tabela 6 - Comprimento x Área das seções	53
Tabela 7 - Cálculo do Deslocamento	55
Tabela 8 - Cálculo de LCB	55
Tabela 9 - Valores de Curvas limites do casco	57
Tabela 10 - Cálculo de Coeficientes de forma	59
Tabela 11 - Relações dimensionais	60
Tabela 12 - Dados para conferência	67
Tabela 13 – Resultados hidrostáticos YD-41	68
Tabela 14 - Dados de entrada (VO70).....	73
Tabela 15 - Resultados hidrostáticos (VO70)	73

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

∇ – Deslocamento volumétrico

Δ – Massa deslocada da embarcação

ρ – Massa específica

A_{wp} – Área do plano de flutuação

A_x – Área da seção mestra submersa

B_{oa} – Boca máxima da embarcação

B_{wl} – Boca na linha d'água da embarcação

CAD – Computer aided design (Projeto auxiliado por computador)

CAM – Computer aided manufacturing (Manufatura auxiliada por computador)

C_b – Coeficiente de bloco

C_p – Coeficiente prismático

C_{wp} – Coeficiente do plano de flutuação

C_x – Coeficiente de seção mestra

D – Pontal da embarcação

D_c – Pontal da embarcação desconsiderando apêndices

LCB – Longitudinal centre of buoyancy (Centro longitudinal de carena)

LCF – Longitudinal centre of flotation (Centro longitudinal de flutuação)

L_{oa} – Comprimento total da embarcação

L_{wl} – Comprimento de linha d'água da embarcação

SAC – Sectional curve áreas (Curva de áreas seccionais)

T – Calado da embarcação

T_c – Calado da embarcação desconsiderando apêndices

x_n – Posição longitudinal do sujeito n

y_n – Posição transversal do sujeito n

z_n – Posição vertical do sujeito n

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	OBJETIVOS.....	18
1.1.1	Objetivo Geral	18
1.1.2	Objetivos Específicos.....	18
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	19
2.1	O QUE É UM VELEIRO	19
2.2	O PROJETO DE VELEIRO.....	20
2.3	DIMENSÕES PRINCIPAIS E COEFICIENTES DE FORMA	21
2.4	INTEGRAÇÃO NUMÉRICA.....	26
2.4.1	Regra dos trapézios	26
2.4.2	Regra de Simpson.....	27
2.5	CURVAS PARAMÉTRICAS DO CASCO.....	28
2.5.1	Plano de Alto	28
2.5.2	Plano de Linhas d'água.....	29
2.5.3	Plano de Balizas	30
2.5.4	Curva de áreas seccionais	31
2.6	COMPARAÇÃO DE CASCOS	31
2.6.1	Linhas de um casco para cruzeiro	37
2.6.2	Linhas de um casco para competição	38
3	METODOLOGIA	41
3.1	PROGRAMA DE DESENVOLVIMENTO	42
3.2	PROGRAMAS CAD.....	42
4	CONSTRUÇÃO E ETAPAS DE CÁLCULO DA FERRAMENTA	43
4.1	CASCOS MODELOS	44
4.2	FORNECIMENTO DE DADOS	45
4.3	ETAPAS DE CÁLCULO.....	46

4.3.1	Cálculo da linha d'água	47
4.3.2	Cálculo de área das balizas.....	52
4.3.3	Desenvolvimento das linhas limites do casco	56
4.3.4	Cálculo de coeficientes de forma e relações dimensionais	59
4.3.5	Tabela de cotas final.....	60
4.3.6	Resultado gráfico apresentado ao usuário	61
4.4	INTERFACE FERRAMENTA-USUÁRIO.....	62
4.4.1	Salvar relatório	63
4.4.2	Janela de ajuda	63
4.4.3	O desenvolvimento	65
4.4.4	Sugestões.....	65
4.4.5	Informativo de erro	65
5	RESULTADOS E COMPARAÇÕES.	67
5.1	COMPARATIVO COM A LITERATURA.....	67
5.2	CASO REAL – VO70	72
6	CONCLUSÃO	78
7	SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	79
	REFERÊNCIAS	80
	ANEXO A – PLANO DE LINHAS DO CASCO YD-41	82
	APÊNDICE A – PLANO DE LINHAS DOS CASCOS MODELO.....	83
	APÊNDICE B – RELATÓRIO	85
	APÊNDICE C – FORMULÁRIO	87
	APÊNDICE D – PASSO A PASSO PARA MODELAGEM EM RHINO	89

1 INTRODUÇÃO

Velejar é uma prática que pode ser apreciada ao longo de toda a vida, dos 5 aos 85 anos, gerando momentos de descanso e afastamento da correria do dia-a-dia, ou então, proporcionando uma sensação de excitação competitiva em regatas (REEKIE, 1987).

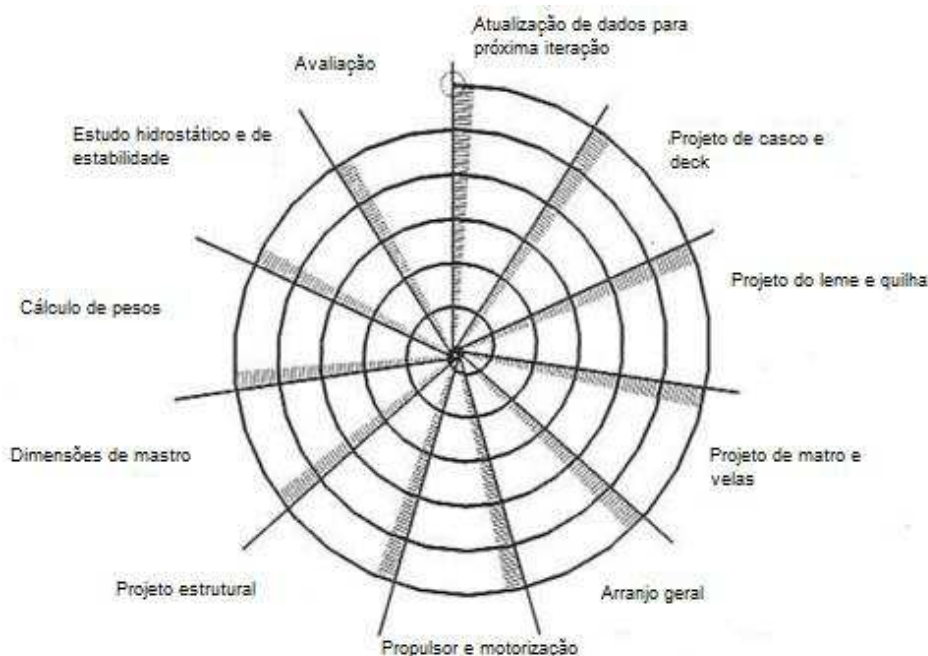
Desde seu surgimento, por volta de 3800 a.c com os egípcios, em uma embarcação com uma simples e pequena estaca segurando um pano para navegar com a força do vento (KIMBALL, 2009), até os dias atuais, com cascos extremamente leves e mastros desenvolvidos a partir de pesquisas de materiais e aerodinâmica, com capacidade de navegar com baixa angulação contra o vento, veleiros são construídos em diversos estilos e tamanhos, projetados para desempenhar funções específicas, seja para navegação de cruzeiro ou para a participação em competições náuticas, passando por variados desenhos de cascos, até chegar a uma solução que ofereça o melhor desempenho. Dentro desta ideia, pode-se citar a grande regata de volta ao mundo, a Volvo Ocean Race, onde participam embarcações com cascos precisamente projetados, e equipes que estudam finamente cada movimento dessas, analisando ângulo por ângulo dos seus ajustes (VOLVOOCEANRACE, 2017).

Fossati (2007) descreve que no século 18, projetistas começaram a notar que cascos longos poderiam ser mais velozes do que os mais curtos, porém até metade do século 19, tomando início os testes em tanques, o projeto de cascos eram largamente resultados da intuição do projetista que escolhia sua forma observando modelos desenvolvidos para cada necessidade.

O estudo e desenvolvimento do casco de um veleiro tem sido cada vez mais analisado e pesquisado para fornecer excelência de hidro e aerodinâmica durante a navegação. Porém, tal estudo pode ter diferentes visões, pois a área de atuação de um veleiro ditará seu casco. Por exemplo, um veleiro especificamente para regatas, talvez não forneça o conforto e estabilidade desejado em cascos de navegação de cruzeiro, da mesma forma, um veleiro de cruzeiro dificilmente atingirá a velocidade desejada em competições.

Sendo assim, o projeto de uma embarcação é um processo iterativo, o qual pode ser representado a partir de uma espiral de projeto segmentada por etapas, em que a cada volta desta, é realizado o refinamento dos parâmetros até um ponto central que define o resultado final. A Figura 1 representa uma espiral típica de projeto para um veleiro.

Figura 1 - Espiral de projeto para um veleiro



Fonte: Adaptado de Larsson e Eliasson (2000)

Nota-se que o desenvolvimento do casco é uma etapa inicial de projeto para o veleiro representado na Figura 1, e quanto melhor realizado na fase inicial, menor será o trabalho de refinamento durante as voltas seguintes dentro da espiral de projeto.

Tendo em vista essa necessidade, propõe-se o desenvolvimento de uma rotina no Excel que utilize técnicas de desenho das linhas de casco de um veleiro a partir de informações sobre as necessidades do cliente, tais como, comprimento, boca, calado, deslocamento estimado e finalidade de uso da embarcação. Para o desenvolvimento desta rotina, será utilizado como base o método de curvas paramétricas de cascos de regata e de cruzeiro, a serem desenvolvidas tendo como premissa a análises de cascos existentes, que possuam desempenho e finalidades específicas, com relações de aspectos dentro de padrões próximos.

O programa deverá ter como resultado a geração de uma tabela de cotas em formato texto (.txt) para modelagem geométrica do casco em ferramentas de Computer Aided Design (CAD). Por conseguinte, essa poderá servir para análises futuras de estabilidade e desempenho,

inclusive utilizando-se ferramentas Computational Fluid Dynamics (CFD). A Figura 2 exemplifica o funcionamento da ferramenta.

Figura 2 - Funcionamento da ferramenta



Fonte: Autor (2017).

Para realizar a programação e a interface gráfica de usuário na parametrização dos cascos, utilizar-se-á o programa Microsoft EXCEL, uma ferramenta de análise de dados e desenvolvimento matemático, que fornece também de uma aplicação Visual Basic for Applications (VBA) com a qual é possível desenvolver, através de linguagem de programação, métodos de cálculo, análises e iterações para a obtenção de resultados.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Propor uma ferramenta para gerar uma tabela de cotas de cascos de veleiros em função de sua finalidade de navegação (regatas ou cruzeiro).

1.1.2 Objetivos Específicos

- Analisar cascos de veleiros atuais para verificar suas linhas de projeto;
- Definir um modelo padrão baseado nas curvas paramétricas para o desenvolvimento de pontos do casco;
- Fornecer uma interface gráfica de usuário para a entrada dos dados iniciais;
- Avaliar modelos gerados em CAD para verificação da ferramenta.
- Estudar uma embarcação real para verificar concordância dos resultados

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção será apresentada a fundamentação teórica introduzindo a definição de veleiro e suas principais dimensões e componentes, as características e requerimentos que influenciam o projeto desta embarcação, apresentação das diferentes formas de casco devido sua finalidade de uso e diferentes comportamentos devido a estas.

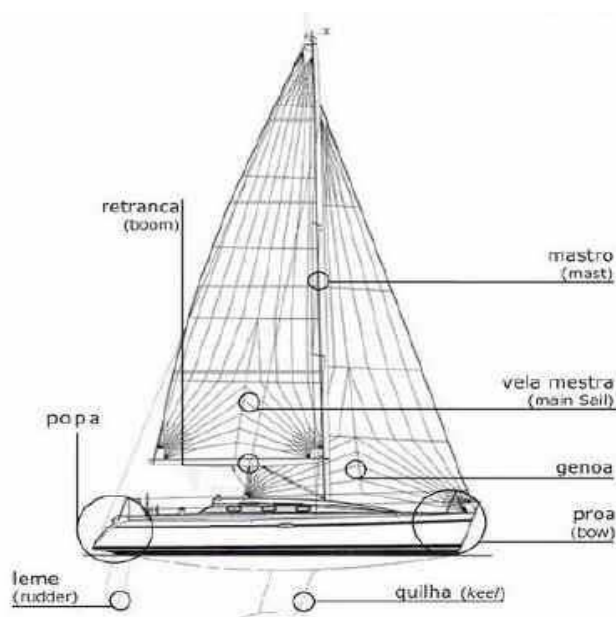
Uma breve discussão a respeito das principais curvas características no processo de projeto destas embarcações e como seu formato de casco pode influenciá-las.

2.1 O QUE É UM VELEIRO

O veleiro é uma embarcação cuja propulsão principal é um conjunto de velas com cortes apropriados, sustentadas por um ou mais mastros, e controladas por um conjunto de cabos (NORMAN-03, 2003)

As velas produzem sustentação aerodinâmica através do princípio de Bernoulli, de maneira semelhante à uma asa de avião, que em trabalho conjunto com a quilha e o leme, faz com que este se desloque para frente. Na Figura 3 apresenta-se os principais componentes de um veleiro, e cujas definições podem ser entendidas no Quadro 1.

Figura 3 - Principais componentes em um veleiro



Fonte: Site Portal São Francisco (2016).

Quadro 1 - Definições das partes principais de um veleiro

Genoa	Vela triangular avante do mastro
Leme	Elemento à ré do veleiro utilizado para direcioná-lo
Mastro	Poste vertical que sustenta a vela e a retranca
Proa	Parte frontal do veleiro
Popa	Parte traseira do veleiro
Quilha	Elemento vertical localizado próximo a meia nau e ao fundo do casco, cujas funções são: reduzir a deriva, promover estabilidade transversal e permitir que se navegue contra o vento.
Retranca	Poste horizontal anexado ao mastro para sustentar o pé da vela
Vela Mestra	Vela principal do veleiro, erguida na parte de trás do mastro e presa na retranca.

Fonte: Adaptado de American Sailing Association (2010)

Conhecido suas nomenclaturas, pode-se continuar a descrever sobre suas demais características para início de projeto.

2.2 O PROJETO DE VELEIRO

De acordo com Fossati (2007), pode-se considerar o veleiro como uma maravilhosa, porém sofisticada máquina. Em sua essência um sistema físico que interage simultaneamente com dois fluidos (água e ar) em forças de vento e do mar.

Conhecendo as especificações para um projeto de veleiro, a primeira consideração a ser feita, é em relação aos tipos de navegação desejada pelo cliente, que segundo Larsson e Eliasson (2014), podem ser divididos em navegação de cruzeiro e navegação para competição. Com esta primeira definição, é possível ter uma ideia de porte e arranjo da embarcação, como Cochran¹ comenta a respeito do processo de projeto “Você começa olhando algo similar já projetado, entendendo as necessidades e buscando pontos de aperfeiçoamento baseado nos objetivos” (Traduzido de: MATHIJSEN, 2017).

¹ Chris Cochran: Projetista sênior da Farr Yacht Design.

No escopo de projeto, muitas vezes os requerimentos de velocidade, comportamento no mar, conforto e facilidade de manobras entram em conflito, por este motivo é necessário decidir no estágio inicial as particularidades principais que se deseja realçar, para que estas sejam priorizadas durante o todo o projeto, mantendo uma boa qualidade no produto, visto que o casco de um veleiro é uma geometria tridimensional complexa e variável, que não é possível definir por uma equação matemática. Porém alguns atributos dimensionais do casco podem ser mensurados, tais como comprimento, boca e calado, ou coeficientes adimensionais como o coeficiente prismático e razão de comprimento por deslocamento. (LARSSON E ELIASSON, 2014)

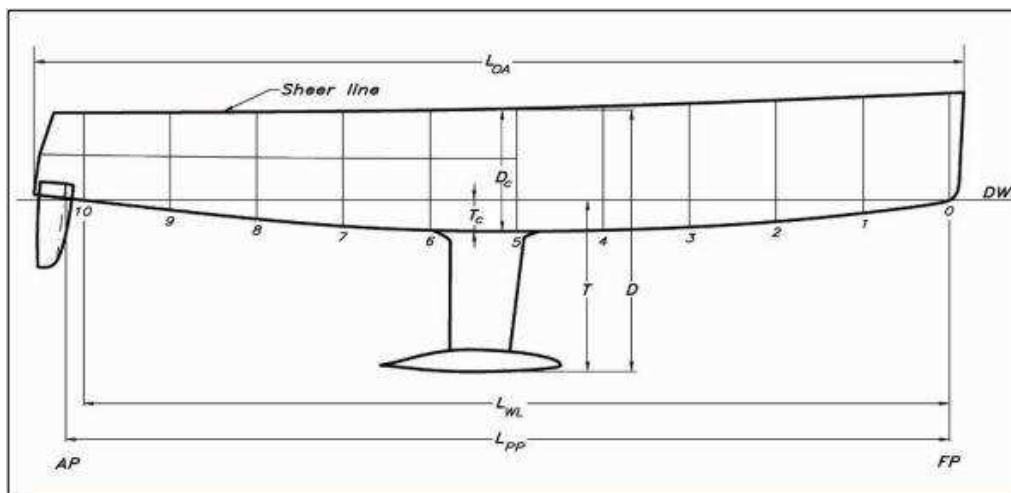
Tanto para veleiros de cruzeiro como os de regatas, suas linhas de casco levam em consideração arranjo de deck, cabine, e locais de navegação, seja mar aberto ou navegação interior, dentro de condições ambientais adversas. As embarcações de competição, possuem ainda mais uma restrição, em função de sua classe de regata. São as regulamentações específicas que determinam o número de tripulantes, comprimento, boca e deslocamento máximos, por exemplo, fazendo com que seu projeto sofra mais restrições que o projeto de um cruzeiro.

2.3 DIMENSÕES PRINCIPAIS E COEFICIENTES DE FORMA

Para o projeto final do casco de uma embarcação é preciso ter a definição das suas dimensões principais e coeficientes de forma. Estas possuem nomenclaturas semelhantes e abreviaturas daquelas para outros tipos de embarcações, sendo comprimento entre perpendiculares (L_{pp}), comprimento total (L_{oa}), calado (T), boca (B) e pontal (D) como pode ser visualizado na Figura 4. Para veleiros é comum a literatura utilizar sub índice “c” para representar o casco sem presença de apêndices, como exemplo de abreviação T_c e D_c que podem ser visualizados na Figura 4 também.

Nota-se também a presença da linha d’água de projeto (DWL), sua perpendicular de proa (FP) e sua perpendicular de ré (AP)

Figura 4 - Principais dimensões de um veleiro



Fonte: Larsson e Eliasson (2014).

Os coeficientes de forma, de maneira análoga, possuem cálculos e nomenclaturas semelhantes aos dados para projetos de navios. Vale ressaltar que neste trabalho os cálculos destes coeficientes estão desconsiderando os apêndices, utilizando-se apenas as dimensões do casco nu.

O coeficiente prismático (C_p) relaciona o volume deslocado da embarcação (∇) com a máxima área transversal (A_x) da parte submersa do casco multiplicado pelo seu comprimento em linha d'água, segundo a Equação 1.

$$C_p = \frac{\nabla}{A_x * L_{wl}} \quad (1)$$

Segundo Perry (2008), grande parte dos veleiros possuem C_p entre 0,5 e 0,56. Porém Larsson e Eliasson (2014) explica que o projetista deve prever em qual situação o veleiro deverá ter sua velocidade ótima, sendo que para um veleiro em orça, o C_p deve ser 0,5 ou menor, enquanto para navegação em vento de popa o coeficiente deveria estar entre 0,65 e 0,7 para um casco leve capaz de atingir um número de Froude de 0,6.

Conforme Larsson e Eliasson (2014) e Fonseca (2002), o coeficiente de bloco é dado pelo volume deslocado da embarcação dividido pelo paralelepípedo de arestas L_{wl} , B_{wl} e T_c que circunscreve o casco submerso. Conforme pode ser verificado na Equação 2. Embora este coeficiente seja importante para cálculos hidrodinâmicos de navios, para veleiros este é pouco utilizado no desenvolvimento do projeto.

$$C_b = \frac{\nabla}{L_{wl} * B_{wl} * T_c} \quad (2)$$

Fonseca (2002) também descreve brevemente o coeficiente de secção mestra como a relação entre a parte imersa da secção mestra e a área do retângulo circunscrito de arestas B_{wl} e T_c , assim visto na Equação 3.

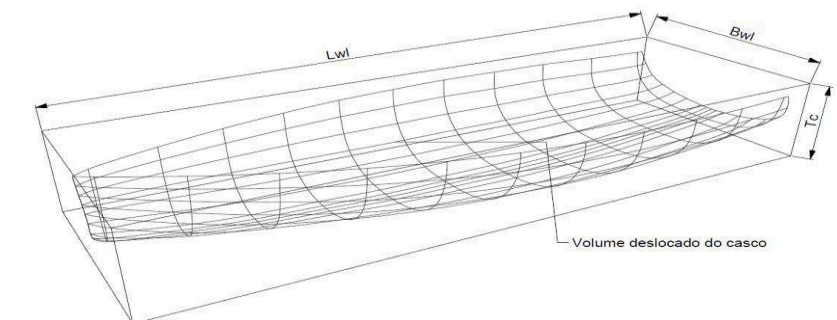
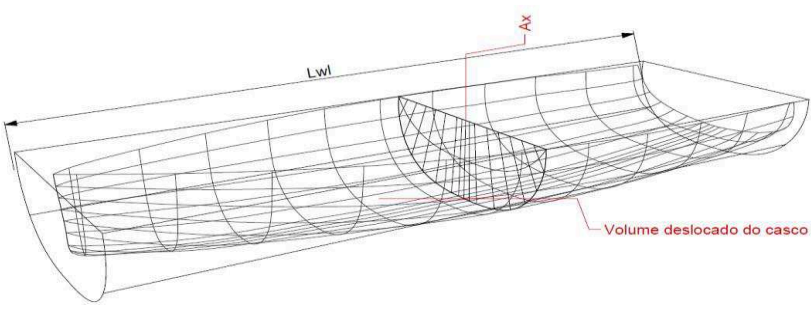
$$C_x = \frac{A_x}{B_{wl} * T_c} \quad (3)$$

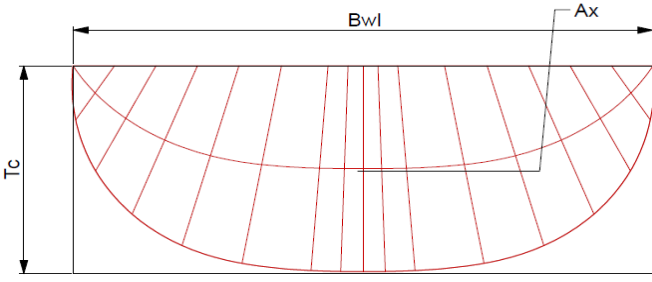
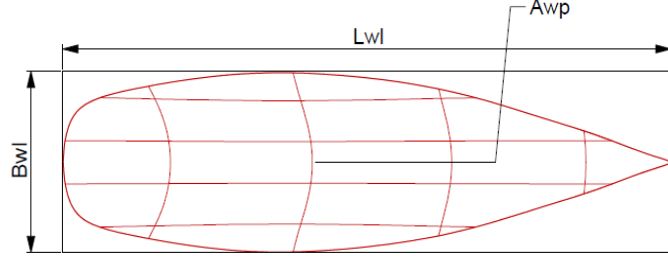
De maneira análoga, descreve-se o coeficiente de área da linha d'água, entre a área de flutuação e o retângulo que a circunscreve com arestas de valores B_{wl} e L_{wl} , conforme a Equação 4.

$$C_{wp} = \frac{A_{wp}}{B_{wl} * L_{wl}} \quad (4)$$

O Quadro 2 foi desenvolvido para ilustrar com a geometria de uma embarcação os coeficientes de forma descritos acima e para uma melhor compreensão das dimensões utilizadas.

Quadro 2 – Ilustração dos coeficientes de forma

Coeficiente de bloco C_b	 <p>Diagrama 3D de uma embarcação mostrando o volume deslocado do casco (área sombreada) dentro de um retângulo de dimensões L_{wl}, B_{wl} e T_c. A etiqueta "Volume deslocado do casco" aponta para a área sombreada.</p>
Coeficiente prismático C_p	 <p>Diagrama 3D de uma embarcação mostrando o volume deslocado do casco (área sombreada) dentro de um retângulo de dimensões L_{wl} e A_x. A etiqueta "Volume deslocado do casco" aponta para a área sombreada.</p>

<p>Coeficiente de Secção mestra C_x</p>	
<p>Coeficiente de plano de linha d'água C_{wp}</p>	

Fonte: Autoria própria (2018)

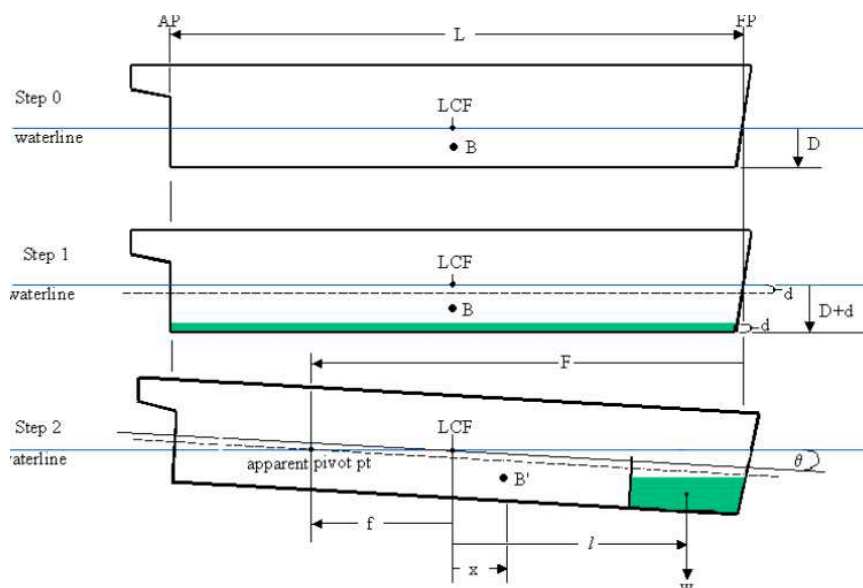
Outra relação importante no desenvolvimento do projeto, é a relação comprimento deslocamento, a qual tem uma grande influência na resistência ao avanço da embarcação. A literatura comumente apresenta valores na ordem de 5,7. Valores acima desse representam barcos mais rápidos e abaixo, barcos mais lentos (LARSSON E ELIASSON, 2014). Sua formulação é apresentada na Equação 5, a razão entre comprimento e deslocamento na raiz cúbica da embarcação.

$$L_{wl}/\nabla^{1/3} \quad (5)$$

Letcher (2009) descreve o centro longitudinal de flutuação, abreviado do inglês por LCF, representando o centroide da área do plano de linha d'água. Este ponto é o pivô no qual a embarcação sofre pequenas mudanças de trim, como ilustra a Figura 5. O cálculo para a determinação de LCF é conforme a Equação 6, em que y representa a boca da embarcação e x o comprimento.

$$x_{LCF} = \frac{2 \int y x dx}{A_{wp}} \quad (6)$$

Figura 5 - Ilustração de LCF

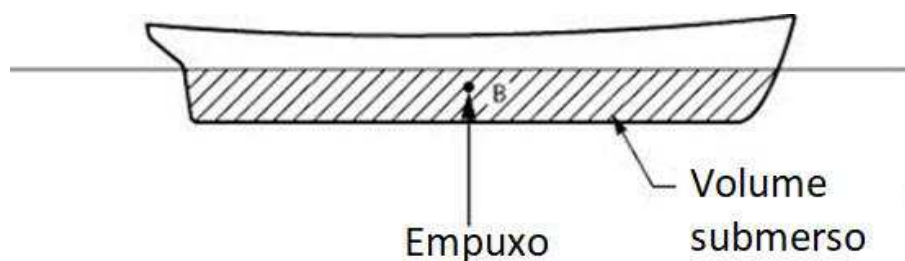


Fonte: Halpern

De maneira similar, o centro longitudinal de carena, ou LCB, representa o centro de gravidade do volume submerso da embarcação, local de aplicação da força de empuxo. Considera-se que a embarcação não possui trim quando o centro longitudinal de empuxo coincide com o centro longitudinal de gravidade desta, assim como a Figura 6 demonstra, por isso a sua definição é de grande importância para a definição da distribuição de pesos ao longo da embarcação. Sua formulação é vista na Equação 7, considerando $SAC(x)$ a curva de áreas seccionais do casco.

$$x_{LCB} = \frac{\int SAC(x)xdx}{\nabla} \quad (7)$$

Figura 6 - Ilustração de LCB



Fonte: Oten Marine

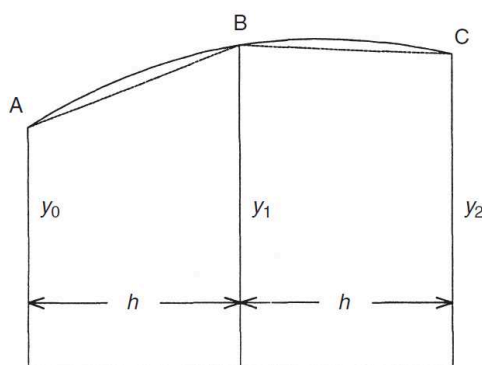
2.4 INTEGRAÇÃO NUMÉRICA

Durante os próximos tópicos deste trabalho, será visto que o casco de uma embarcação pode ser representado por uma série de curvas as quais são intersecções do casco em 3 planos ortogonais. Como explica Tupper (2004), o engenheiro naval estará interessado nas áreas e volumes dispostos por estas curvas, momentos de inércia e centroides. Estes valores podem ser calculados matematicamente utilizando integração, se a curva pode ser expressa por meio de equações. Tal representação pode não ser simples, sendo que as linhas de casco são de formas complexas e dificilmente uma equação represente-as. Porém, existem métodos de integração numérica desenvolvidos, e que são utilizados neste trabalho, para solucionar este impasse, sendo dois destes apresentados a seguir.

2.4.1 Regra dos trapézios

No caso em que os pontos, que interceptam o perímetro de uma área, são unidos por retas, esta área poderá ser representada pelo somatório de uma série de trapézios que a formam (TUPPER, 2004). Como pode ser visualizado na Figura 7, a curva ABC é substituída por duas retas AB e BC com suas ordenadas y_0 , y_1 e y_2 , distanciadas igualmente de h .

Figura 7 - Regra dos trapézios



Fonte: Tupper (2004).

Considerando “n” valores de y em uma dada curva, o somatório dos trapézios que representam a área pode ser representado conforme a Equação 8.

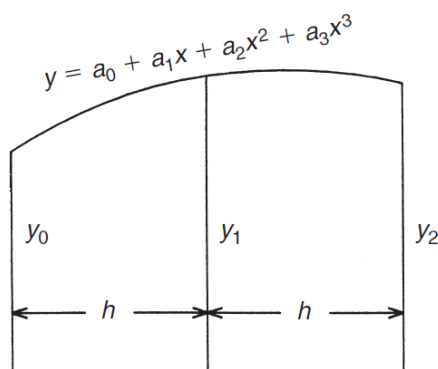
$$\text{Área} = \frac{h(y_0 + 2y_1 + 2y_2 + \dots + 2y_{n-1} + y_n)}{2} \quad (8)$$

2.4.2 Regra de Simpson

Utilizar a regra dos trapézios pode trazer alguma imprecisão. Sendo assim, pode-se aplicar outro método muito utilizado por engenheiros navais, a regra de Simpson. Tal regra descreve a curvatura por uma Equação cúbica, como pode ser visto na Figura 8, tendo o seu valor de área definido por:

$$\int_{-h}^{+h} y dx = \text{Área} \quad (9)$$

Figura 8 - Regra de Simpson



Fonte: Tupper (2004)

Conforme desenvolvida em Tupper (2004), a Equação 9 resulta em uma solução para o cálculo de áreas, sendo que a área terá números ímpares de ordenadas, conhecido como primeira regra de Simpson, demonstrada na Equação 10.

Larsson e Eliasson (2014) também menciona que este método é de uso comum na engenharia naval, devido à sua fácil e simples aplicação, para cálculo de áreas, momentos e centroides.

$$\text{Área} = \frac{h}{3} (y_0 + 4y_1 + 2y_2 + 4y_3 + 2y_2 + \dots + 4y_{n-1} + y_n) \quad (10)$$

Segundo Tupper (2004), este método, pode ser utilizado para cálculos de diversas integrais, logo pode ser aplicado a cálculos de primeiro e segundos momentos de áreas, conforme Equações 11 e 12.

$$\textbf{Primeiro Momento} \begin{cases} \int \int x dx dy = \int xy dx \\ \int \int y dx dy = \int \frac{1}{2} y^2 dx \end{cases} \quad (11)$$

$$\textbf{Segundo Momento} \begin{cases} \int \int x^2 dx dy = \int x^2 y dx = I^x \\ \int \int y^2 dx dy = \int \frac{1}{2} y^3 dx = I^y \end{cases} \quad (12)$$

2.5 CURVAS PARAMÉTRICAS DO CASCO

A superfície do casco de uma embarcação pode ser representada por conjuntos de curvas, as quais são identificadas em um plano de linhas da embarcação. O plano de linhas é composto pelos planos de alto, balizas e linha d'água.

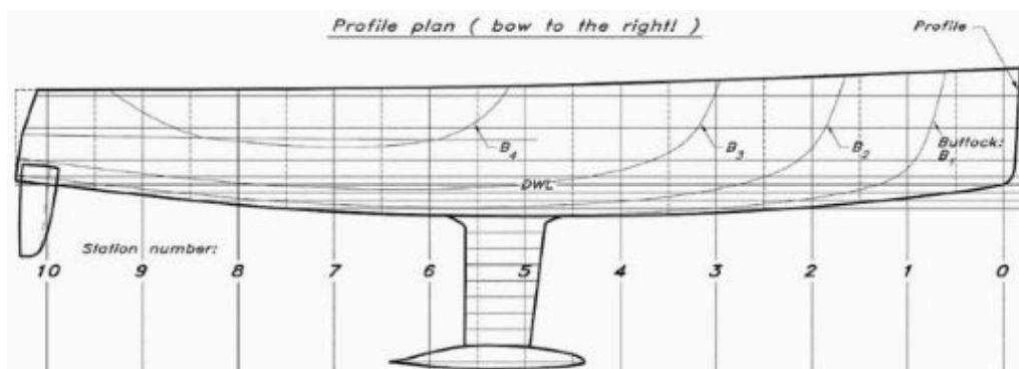
As curvas mostradas em um plano de linhas, normalmente são as mesmas nas três vistas, e podem constituir de linhas principais, sendo elas as curvas de limites do casco e linhas principais do projeto tais como linha do convés, linha de perfil casco, linha d'água de projeto e balizas.

A seguir serão explicadas as vistas presentes em um plano de linhas.

2.5.1 Plano de Alto

O plano de alto caracteriza a intersecção do casco da embarcação com seu plano de simetria longitudinal e demais planos paralelos ao mesmo, transversalmente equidistantes (FOSSATI, 2007). Larsson (2014) discorre que o plano de alto é de grande importância para a aparência de um veleiro, pois neste são detalhadas a popa, proa e a linha do convés, como pode ser visualizado na Figura 9.

Figura 9- Plano de Alto de um veleiro



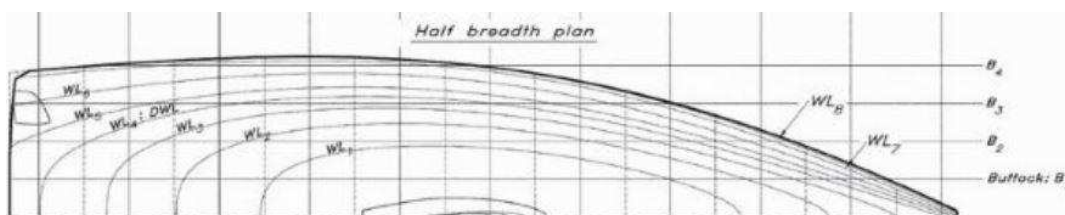
Fonte: Larsson (2014)

É comum este plano enumerar as intersecções do plano de balizas, demonstrando assim suas posições para a fácil compreensão da superfície, normalmente em dez planos para o projeto veleiros.

2.5.2 Plano de Linhas d'água

O plano de linhas d'água caracteriza as linhas d'água obtidas de intersecções com planos paralelos à superfície da água, verticalmente equidistantes. Este plano representa apenas metade da embarcação visto que a mesma possui simetria em seu plano longitudinal. A Figura 10 demonstra um plano de linhas d'água de um veleiro.

Figura 10 - Plano de linhas d'água de um veleiro



Fonte: Larsson (2014)

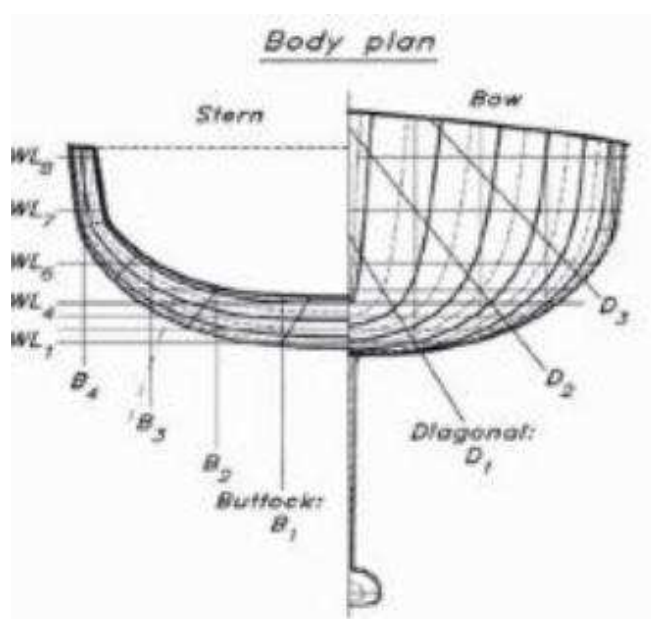
Fonseca (2005) explica que as linhas d'água que são apresentadas no plano de linhas são utilizadas no processo de projeto da embarcação para cálculos, mas em algumas delas a embarcação não pode navegar. Sendo as linhas as quais a embarcação flutua, conhecidas como linhas de flutuação, mas não são necessariamente paralelas às linhas d'água devido a distribuição de peso ao longo da embarcação.

A linha de flutuação correspondente ao calado de projeto do casco é chamada de linha d'água projetada.

2.5.3 Plano de Balizas

O plano de balizas, representa as secções transversais da embarcação, obtidas por planos perpendiculares ao plano de simetria longitudinal transversalmente equidistantes. Neste plano é possível visualizar o formato do casco da embarcação. Como usualmente o casco possui simetria no plano longitudinal, Larsson (2014) explica que apenas metade da secção é necessária ser mostrada, com isso é possível detalhar a meia nau até a proa no lado direito do plano, e a meia nau até a popa no lado esquerdo do plano, conforme pode ser visto na Figura 11.

Figura 11 - Plano de Balizas de um veleiro



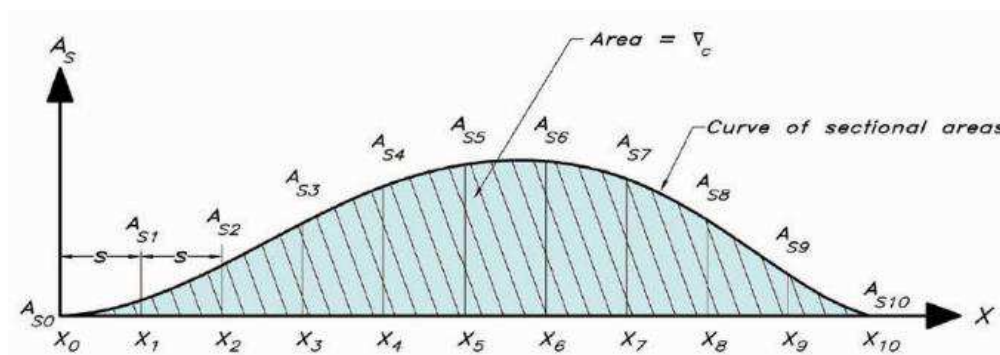
Fonte: Larsson (2014)

A embarcação pode ser dividida em 10, 20 ou 40 partes iguais, conforme o tamanho da embarcação e a precisão desejada. Geralmente, avante e a ré da embarcação incluem-se balizas intermediárias devido a rápida mudança de geometria nestes extremos (FONSECA, 2005).

2.5.4 Curva de áreas seccionais

Lewis (1989) descreve a curva de áreas seccionais como fundamental no processo de projeto de uma embarcação. Esta curva representa a distribuição longitudinal das secções transversais abaixo da linha d'água de projeto. A Figura 12 ilustra uma curva de áreas seccionais sendo que a ordenada representa a área da secção em metros quadrados, e abscissa a distância longitudinal ao longo da embarcação em metros. Esta, em alguns casos, é plotada no plano de linhas da embarcação, comumente junto do plano de alto.

Figura 12 - Curva de áreas seccionais



Fonte: Larsson e Eliasson (2014)

É possível obter alguns valores de projeto a partir deste gráfico, nota-se que a área abaixo da curva representa o volume deslocado da embarcação, o seu centroide determina o centro longitudinal de flutuação, e a razão da área pelo retângulo circunscrito resulta no coeficiente prismático da embarcação.

2.6 COMPARAÇÃO DE CASCOS

Inicialmente, os projetos de veleiros de cruzeiro eram desenvolvidos tomando como inspiração embarcações de trabalho e de pesca, conforme retrata Fossati (2007), em meados do século 18 navegadores começaram a notar que cascos com comprimento maior poderiam ser mais rápidos em relações absolutas para com os menores.

De certa forma, antes dos primeiros testes em tanques de provas, projetistas se baseavam em suas intuições observando modelos já desenvolvidos.

Pode-se dizer que o desenvolvimento de veleiros de regatas, sem fins militares ou comerciais, foi o grande propósito para o estudo de suas linhas de casco, ou seja, a vontade de

ganhar regatas constituiu a motivação para o entendimento da relação forma do casco com performance. (FOSSATI, 2007)

Regatas eram consideradas esporte apenas de reis, porém nos anos de 1800, as regatas começaram a incluir participantes além das realezas, como descrito pela American Sailing Association (2017).

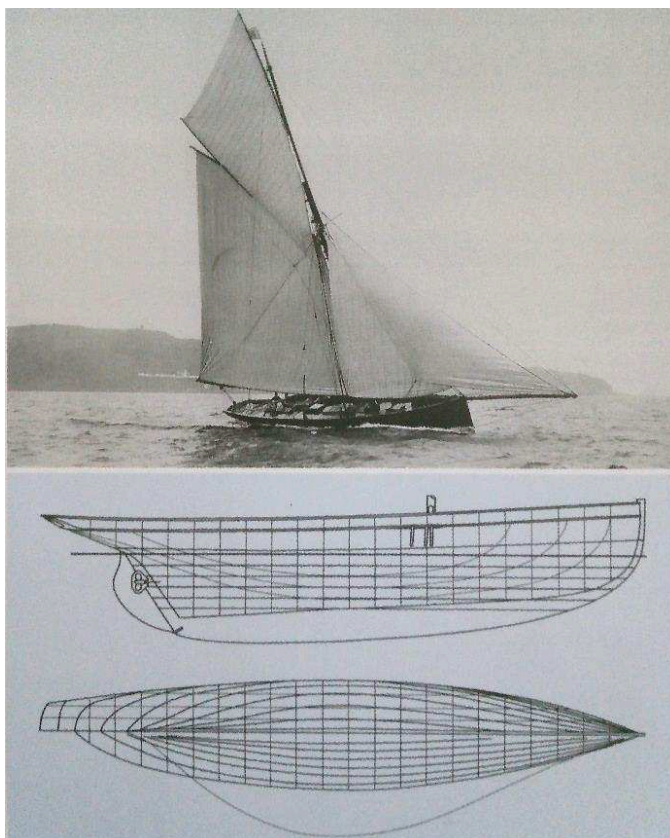
Fossati (2007) menciona que as pessoas começaram a velejar por prazer ou pela competição, surgindo a necessidade de permitir que embarcações diferentes pudessem competir entre si em regras iguais. Tal necessidade liderou a criação da primeira classe de regata e o conceito de classificação, permitindo que a diferença de dimensões entre as embarcações fossem anuladas e seu desempenho ser avaliado em função do comprimento do casco.

Ao longo da história, foram surgindo diversas fórmulas objetivando na avaliação de maneira a incluir as variáveis que afetavam a velocidade do veleiro, tais como comprimento, boca, calado, deslocamento e área vélica. Claramente constata-se que tais parâmetros também são grandes influentes na estabilidade, manobrabilidade e comportamento no mar.

Porém, não significa que apenas a matemática ditou a evolução dos cascos dos veleiros. Como por exemplo, no século 18 os veleiros Cutter ingleses foram grandes embarcações que fomentaram os velejadores. Atualmente um veleiro cutter, representado na Figura 13, é conhecido por sua mastreação, porém possuem este nome devido ao seu uso pela marinha inglesa em perseguições de contrabandistas. Seu formato e equipamentos de trabalho faziam com que fossem projetados para terem características desejadas em veleiros de competição, e que ao longo do tempo foram sendo desenvolvidas, produzindo uma série de velozes veleiros ágeis de velejar contra o vento e beleza desejada por muitos navegadores. (FOSSATI, 2007)

Desta maneira, surge a regra de medição de Thames para os veleiros ingleses, utilizada para pequenas embarcações no cálculo de taxas portuárias e também para sistemas de classificação em regatas. A regra utiliza as variáveis comprimento e boca da embarcação em sua fórmula para calcular a tonelagem de Thames. (KEMP, 1979)

Figura 13 - Veleiro Cutter

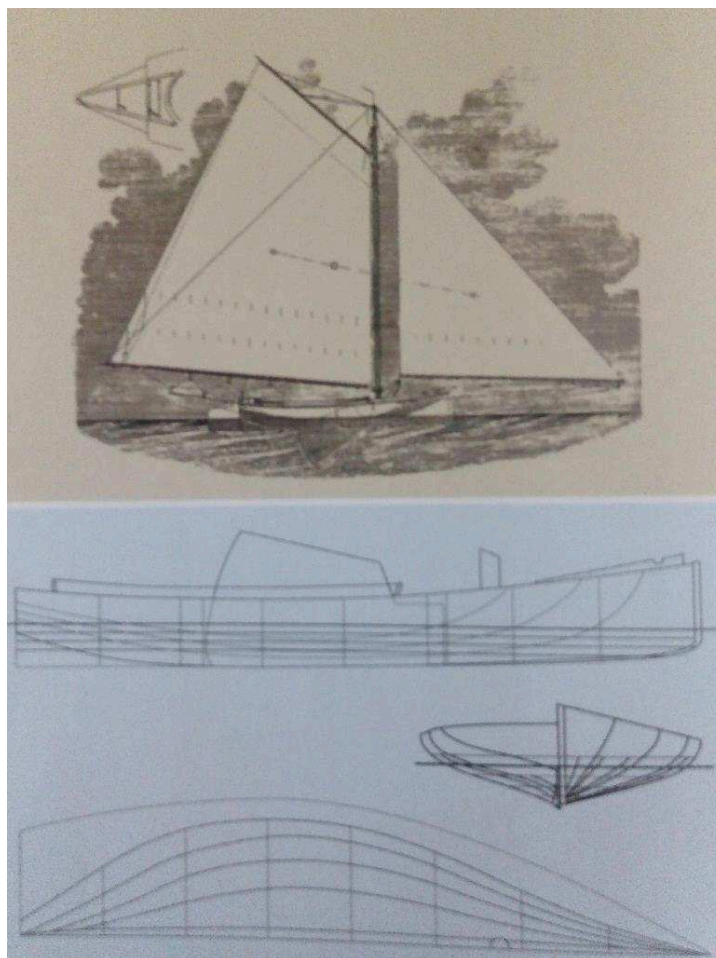


Fonte: Fossati (2007)

De maneira semelhante, nos Estados Unidos, também surgiram veleiros com derivações de embarcações de pesca que percorriam as baías da costa do atlântico. Muito destes possuíam grandes bocas e baixos calados devido as características do local em que realizavam a pesca. Estes veleiros contém uma bolina para a navegação contravento, e uma grande vela em um único mastro, como ilustra a Figura 14.

A estabilidade era garantida por sua grande boca e por lastro móvel em sacos de areia, assim deram origem ao seu nome Sandbaggers.

Figura 14 - Veleiro Sandbagger



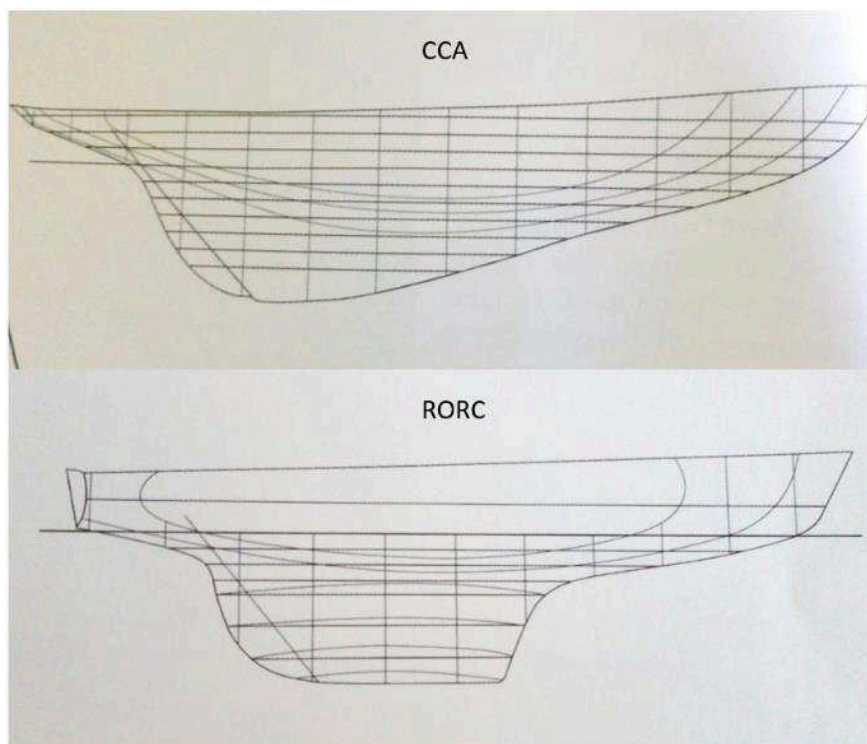
Fonte: Fossati (2007)

A partir do século 20 diversas outras fórmulas de classificação surgiram, sobretudo após a segunda guerra mundial, quando as regatas internacionais se tornaram populares.

Pode-se citar a fórmula da classe Cruising Club of America (CCA) aplicando relações complexas de deslocamento e lastro favorecendo cascos robustos. Já a classe Royal Ocean Racing Club (RORC) é intuitiva e procura classificar embarcações de baixo deslocamento.

Na Figura 15, verifica-se a diferença na geometria dos cascos das classes CCA e RORC.

Figura 15 - Comparação das classes CCA e RORC

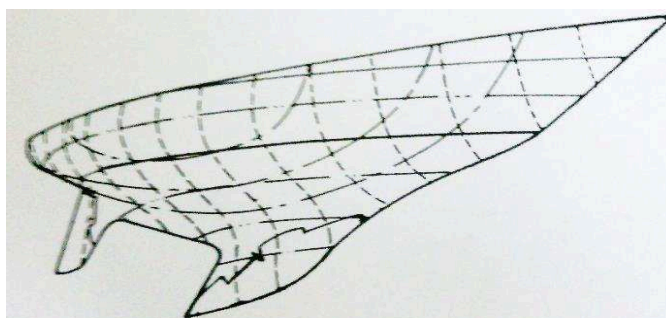


Fonte: Adaptado de Fossati (2007)

Seguindo o desenvolvimento nos formatos de cascos, segundo Fossati (2007), nos anos 60 uma grande mudança nos projetos de veleiros foi marcante promovendo maior desempenho, a separação do leme da quilha do veleiro. Tal mudança foi desenvolvida com o objetivo de reduzir a área molhada o máximo possível e de certa forma proporcionar ao veleiro uma maior manobrabilidade.

O estúdio de projetos Sparkman & Stephens produziram este tipo de configuração que governaram as grandes regatas. Como pode ser visto na Figura 16, tornou-se uma nova configuração em projetos de veleiros.

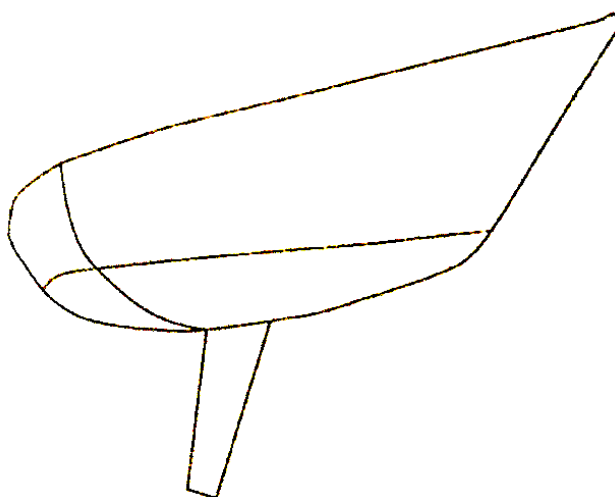
Figura 16 - Configuração com leme e quilha separados



Fonte: Fossati (2007)

Com as pesquisas e desenvolvimento aprofundado destes cascos, a International Offshore Rule (IOR) ganhou espaço como evolução da CCA e RORC para padronizar os sistemas e garantir a mesma regra em todos os países. Esta regra, brevemente, classificava veleiros com baixo comprimento em linha d'água, penalizando veleiros maiores, que por sua vez eram mais velozes. Embora tenha aberto portas para novas embarcações surgirem e novas regatas acontecerem, os projetos específicos para a classe IOR possuem características que atualmente podem ser vistas como perigosas. Estes cascos, ilustrado na Figura 17, possuíam pouca estabilidade devido a sua geometria e estão sempre em grande movimento mesmo em ondas pequenas. A regra e seu conceito de casco foram sendo abandonados ao longo do tempo pelas comissões de regata e pelos engenheiros navais.

Figura 17 - Casco típico da classe IOR



Fonte: Fossati (2007)

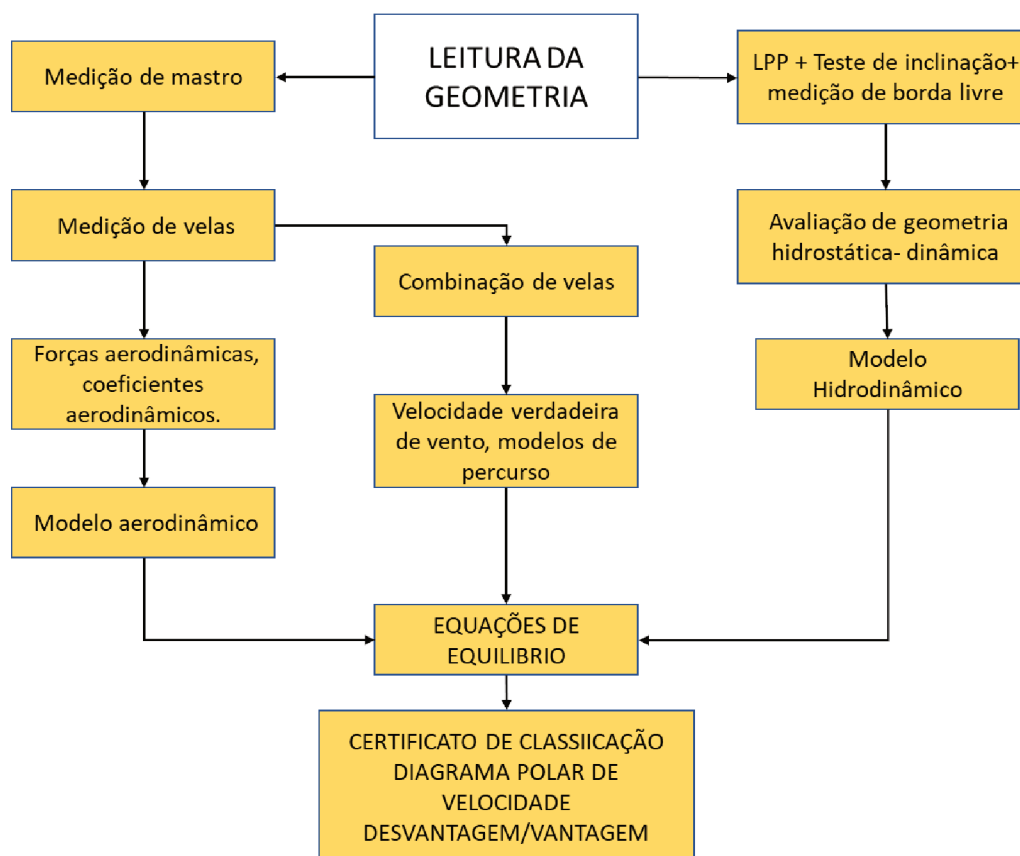
Passando os anos 70, a distinção entre embarcações de cruzeiro e regata começaram a surgir, ao mesmo tempo em que veleiros que competiam possuíam um grande conforto para navegação, veleiros projetados especificamente para regatas começaram a surgir. Estes possuindo um convés limpo e com geometrias próprias para as competições dentro das regras aplicáveis. Especificamente as ideias de estabilidade e baixo deslocamento retornaram.

Assim evoluindo, como descreve Fossati (2007), embarcações com seu deslocamento extremamente baixo e possuindo cascos planantes surgem por volta de 1980, procurando concentrar ao máximo os pesos a meia nau.

Uma nova regra de classificação é desenvolvida no início dos anos 90, a International Measurement System, (IMS), a qual utiliza métodos de predição de desempenho para os

veleiros. Substituída atualmente pela Offshore Racing Congress (ORC), seu processo de certificação de um veleiro para as regatas pode ser visto no diagrama de blocos presente na Figura 18.

Figura 18 - Processo de certificação ORC



Fonte: Fossati (2007)

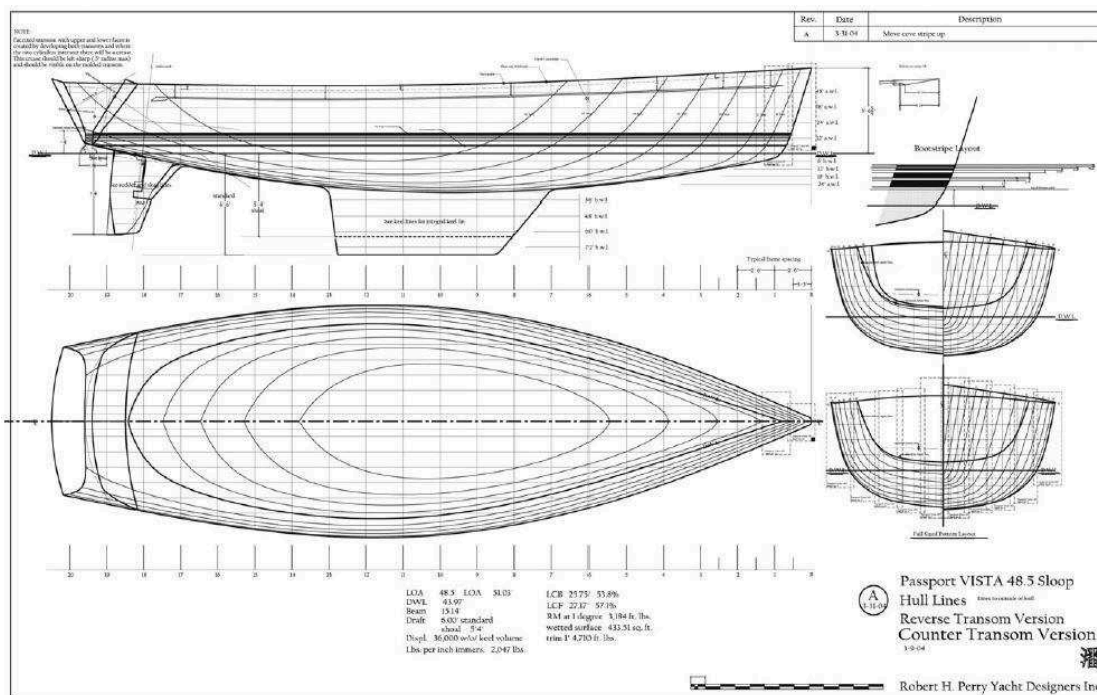
Caracterizados por seu fundo plano e roda de proa muito próxima de ser totalmente vertical, os veleiros designados para a certificação IMS ou ORC ainda são desenvolvidos pelos projetistas que visam grandes regatas e competições internacionais.

2.6.1 Linhas de um casco para cruzeiro

Algumas características de um veleiro de cruzeiro podem ser vistas a partir das linhas de casco, em grande parte estes projetos possuem contornos de quilha mais arredondados, balizas com secções parabólicas a semicirculares e linhas d'água que seguem o mesmo comportamento da linha de quilha. Um exemplo de projeto deste tipo é apresentado na Figura

19, design do projetista Robert Perry, publicado em seu livro, projeto Passport Vista 485, em que é possível notar as características citadas.

Figura 19 – Plano de linhas de um veleiro de cruzeiro



Fonte: Perry (2008)

Estes veleiros, em sua maioria, possuem um deslocamento maior se comparado com uma embarcação de competição com as mesmas dimensões características, como discutido anteriormente a respeito da razão de comprimento deslocamento na influência na velocidade, em que a linha d'água define a velocidade máxima da embarcação deslocante pela equação $V = 1.25\sqrt{L_{wl}} \left[\frac{m}{s} \right]$, obtida a partir da definição de resistência de ondas, quando o comprimento da onda gerada pela embarcação é igual ao comprimento em linha d'água (SLOOF, 2015).

Estes cascos costumam ter também como característica uma maior estabilidade a grandes ângulos, com ângulos de restauração que podem chegar próximo de 180°.

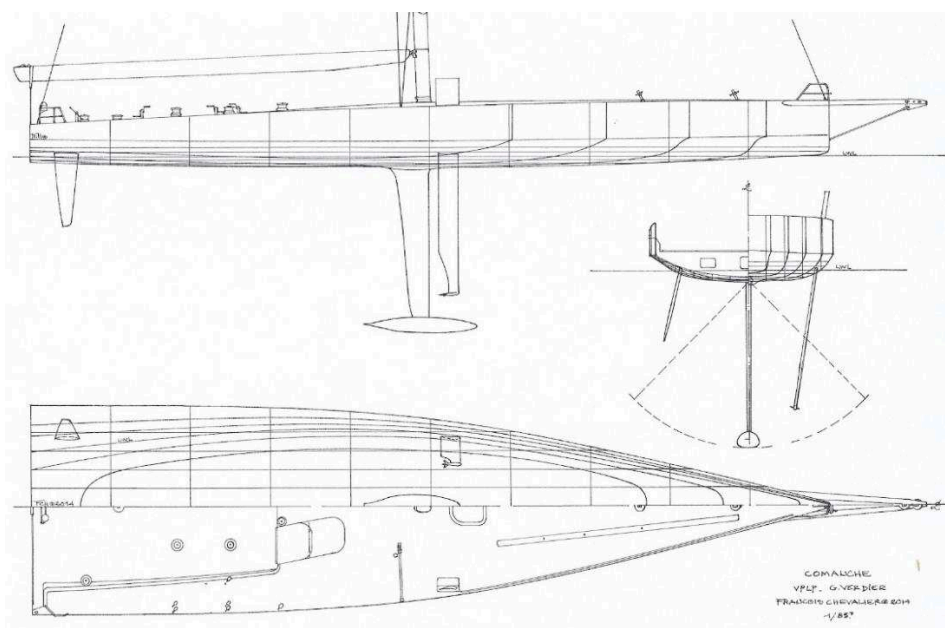
2.6.2 Linhas de um casco para competição

A caracterização de um casco de veleiro designado para regatas, assim como o item anterior, pode ser identificado por seus desenhos, que podem variar dependendo das regras e regulamentações da regata em questão, mas que comumente apresentam linhas de quilha mais

retas com pequenas curvaturas, desenho de linha d'água e convés com pouca variação na boca no sentido da meia nau para a ré da embarcação e balizas com seções quase planas ao fundo e criando curvaturas nas extremidades próximo à boca da baliza em questão, como visto na Figura 20 que em alguns casos caracterizam cascos semi-planantes, visto que estes conseguem desempenhar um regime de semi-planeio sob a superfície d'água podendo alcançar maiores velocidades se comparado com cascos deslocantes em mesma potência de vento. Esta característica é denominada pela International Standards Organization ISO 12215-5, através da condição formulada por $\frac{V}{\sqrt{L_{wl}}} \geq 5$. (ISO 12215-5, 2008)

Tal condição pode ser conferida em veleiros de competição oceânica, que podem atingir 35 nós de velocidade em um comprimento de linha d'água de 20 metros. (VOLVOOCEANRACE, 2014)

Figura 20 – Plano de linhas de um veleiro de competição



Fonte: Chevalier (2015)

É importante comentar que existem algumas exceções em veleiros que participam de diferentes tipos de regatas para com relação à geometria caracterizada neste trabalho, como por exemplo os veleiros J-Class, uma classe de veleiros que possuem um formato clássico e construídos a partir das especificações da regra universal proposta pelo arquiteto naval e engenheiro Nathanael Herreshoff (J-CLASS, 2017). Tal regra define uma Equação dependente do deslocamento, comprimento e área vélica da embarcação, a qual determinava a elegibilidade

do veleiro para a participação na America's Cup² entre 1914 e 1937 (UNIVERSAL RULE, 2007).

² Uma das mais antigas e conhecidas competições internacionais entre veleiros (AMERICA'S CUP, 2017).

3 METODOLOGIA

O presente trabalho propõe o desenvolvimento de uma ferramenta, nomeada pelo autor como “Ventum”, para a geração de tabela de cotas de veleiros, tendo como dados de entrada suas coordenadas principais e missão de navegação.

O formato desta tabela de cotas será em três colunas, com valores de x, y e z representando as dimensões longitudinais, transversais e verticais respectivamente, como mostra a Figura 21.

Utilizou-se como referência três modelos de casco, sendo um para navegação de cruzeiro, um para navegação de regatas e por último, um casco da literatura.

A ferramenta calcula áreas e volumes por meio das fórmulas de Simpson e desenvolve suas linhas d’água por meio de interpolações entre os pontos inseridos dos cascos modelos e os dados de entrada do usuário.

Os códigos desenvolvidos no ambiente VBA manipulam e calculam os dados de maneira a proporcionar os resultados de acordo com a missão de navegação escolhida, evitar erros nas dimensões de entrada, manter a ferramenta na interface gráfica de usuário proposta e possibilitar o usuário a salvar a tabela de cotas e relatório.

Realizou-se pesquisa por embarcações de mesmo propósito, de maneira a obter uma base de dados de referência em dimensões, e suas relações.

Figura 21 - Formato de tabela de cotas

X	Y	Z
0.00	1.61	0.96
0.00	1.56	0.74
0.00	1.45	0.55
0.00	1.26	0.44
⋮	⋮	⋮
8.16	0.27	0.22
8.16	0.15	0.13

Fonte: Autoria própria (2018)

Espera-se que este trabalho auxilie o desenvolvimento de projetos de veleiros em âmbito acadêmico e pesquisa, proporcionando uma fácil interface, e rápida entrega do resultado para o usuário desenvolver seu modelo.

A seguir são apresentadas as ferramentas utilizadas no desenvolvimento deste trabalho.

3.1 PROGRAMA DE DESENVOLVIMENTO

Para a modelagem da ferramenta proposta, utilizou-se do programa computacional Microsoft Excel 2016, e sua aplicação de desenvolvimento VBA.

Lançado em 1993 para o Microsoft Excel, a linguagem VBA foi uma ideia para a substituição das linguagens macro, e com sua robustez e sofisticação, logo se tornou um grande sucesso no desenvolvimento de soluções customizadas com o Excel. Contém todas as funções necessárias para o desenvolvimento de grandes aplicações. (LOMAX, 1998).

3.2 PROGRAMAS CAD

Ao final da implementação do programa foi realizado modelagens em programas CAD para verificar e analisar os resultados das cotas geradas por este.

Neste processo, utilizou-se o programa Rhinoceros na modelagem da superfície da embarcação, então a geometria foi exportada em formato stereolithography (STL) e importada pelo programa MaxSurf para verificar os valores dimensionais e coeficientes relacionados a geometria.

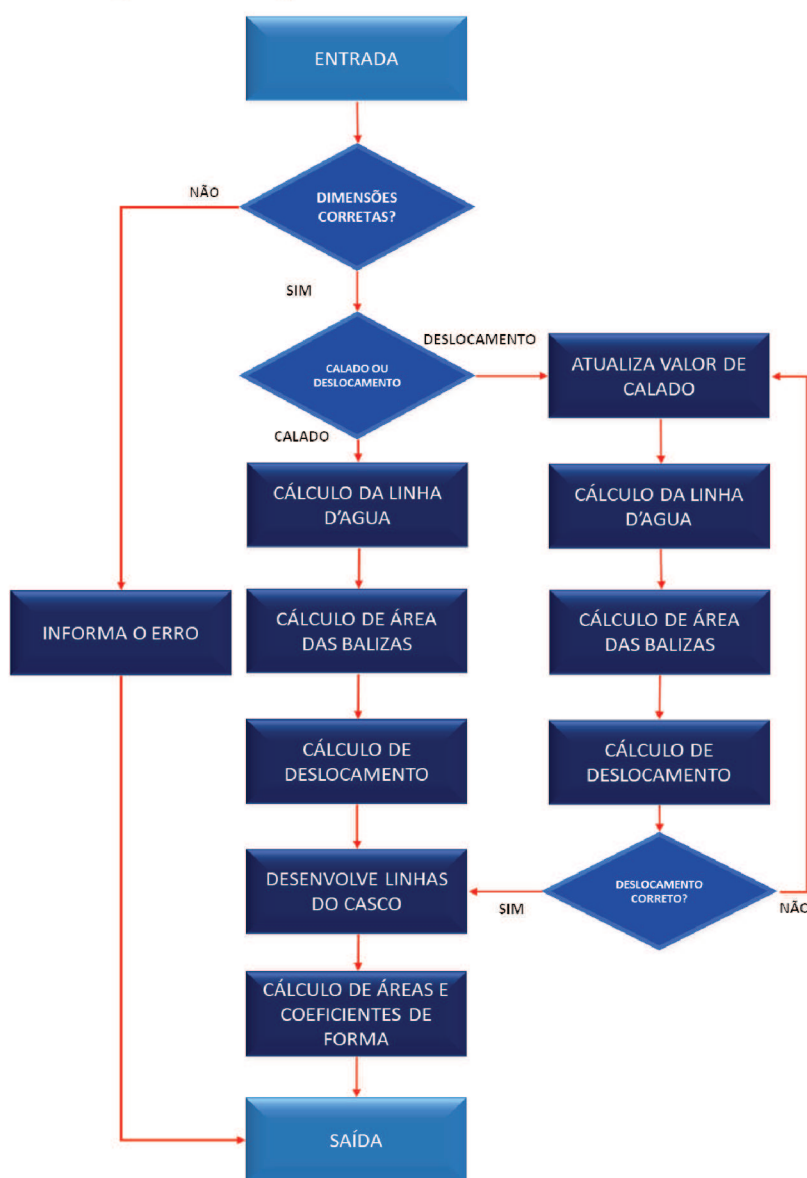
O programa computacional Rhinoceros foi desenvolvido pela empresa Robert McNeel & Associates. Ele desenvolve geometrias 3D baseados em modelos matemáticos non-uniform rational basis splines (NURBS), representando precisamente superfícies e curvas complexas em CAD.

Em paralelo, desenvolvido pela empresa Formsys, o Maxsurf em seu segmento Modeller, proporciona uma rápida e intuitiva maneira de modelar cascos, proporcionando ao usuário as ferramentas necessárias para o desenvolvimento de embarcações otimizadas, com diversas maneiras de manipular as superfícies, resultando em geometrias de alta qualidade que poderão ser utilizadas para outras análises em específicas em CAD/CAM.

4 CONSTRUÇÃO E ETAPAS DE CÁLCULO DA FERRAMENTA

Ao utilizar a ferramenta, o usuário visualizará apenas a página de interface, a qual possibilita a interação usuário-ferramenta. Porém, para chegar aos resultados, existem outras páginas em que são realizadas as iterações, cálculos e manipulação de dados. Este tópico visa explicar quais são estas etapas realizadas desde a entrada de valores até a saída dos resultados finais. De maneira breve, a Figura 22 demonstra o fluxograma das etapas de cálculo da ferramenta.

Figura 22 - Etapas de cálculo da ferramenta



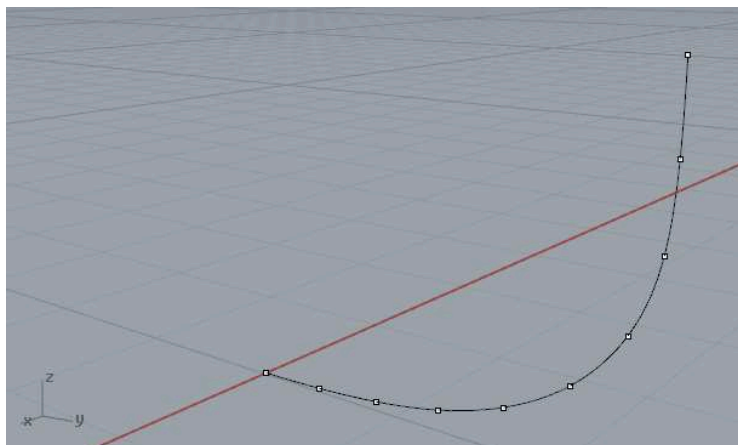
Fonte: Autoria própria (2018)

4.1 CASCOS MODELOS

Conforme descrito na metodologia, três modelos de casco são utilizados para a construção da ferramenta. A escolha e modelagem destes levou em consideração além das características descritas na introdução, cascos atuais, com geometrias desenvolvidas para sua boa atuação e desempenho em sua navegação que podem ser verificados em diversos projetos de empresas do setor. Seus planos de linhas podem ser verificados no APÊNDICE A.

A partir dos planos de linhas, utilizando o programa Rhinoceros, cada baliza dos modelos foram segmentada por 10 pontos, os quais possuem coordenadas no espaço (x,y,z), conforme a Figura 23 demonstra.

Figura 23 - Divisão de uma baliza em 10 pontos no espaço

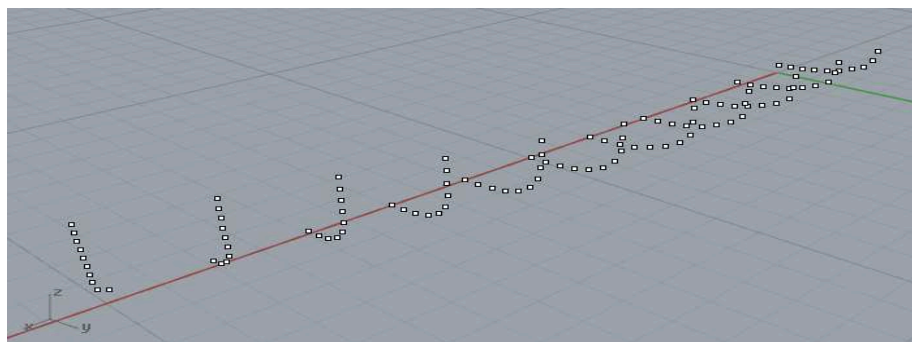


Fonte: Autoria própria (2018)

Após todas as balizas serem segmentadas, obtém-se como resultado uma nuvem de pontos no espaço, conforme a Figura 24, esta então é exportada no formato “txt” para que seja utilizada para a realização dos cálculos da ferramenta.

Ao importar estes valores na planilha de cálculo, divide-se os valores em x pelo comprimento total da embarcação, os valores de y pela boca máxima e os valores de z pelo pontal. Assim uma nova tabela é produzida, apenas com valores entre 0 e 1.

Figura 24 - Nuvem de pontos obtida



Fonte: Autoria própria (2018)

Esta tabela, organizada em ordem crescente nos valores de “x”, torna possível os passos seguintes de cálculos que são realizados a partir dos dados de entrada de um usuário.

4.2 FORNECIMENTO DE DADOS

Ao executar o programa, o usuário deverá informar dados para a realização do projeto, tais como nome do projeto, comprimento total, boca máxima, pontal, e escolher entre a inserção de calado do casco ou deslocamento volumétrico deste que conforme fluxograma apresentado, utilizam caminho de cálculo diferentes. Na Figura 25 é demonstrada os espaços de dados a serem inseridos.

Figura 25 - Entrada de dados da ferramenta

ENTRADA DE DADOS	
Nome do projeto:	Projeto
Comprimento L_{oa}	m
Boca B_{oa}	m
Pontal D_c	m
Calado T_c	m
Calado T_c	
Deslocamento ∇	

Fonte: Autoria própria (2018)

A possibilidade de escolha entre a inserção de calado ou deslocamento volumétrico partiu do conhecimento de que quando o usuário realizar a pesquisa por embarcações semelhantes, as principais informações que podem ser encontradas são o comprimento total, boca máxima e deslocamento da embarcação. Observou-se durante pesquisas que poucas são as embarcações que é possível encontrar valores referentes ao calado do casco nu.

Logo abaixo desta seleção, tem-se a possibilidade de escolha da missão de navegação da embarcação, como mostra a Figura 26, possibilitando a escolha entre Cruzeiro, Regata e a embarcação de Larsson e Eliasson YD-41.

Figura 26 - Seleção do perfil de navegação da embarcação

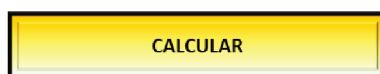
Fonte: Autoria própria (2018)

Para este último, caso selecionado, os cálculos utilizam apenas as dimensões da embarcação proposta por Larsson (2014) para fins de verificação de resultados e possibilidade da modelagem deste para questões acadêmicas, suas principais características estão disponíveis no ANEXO A.

4.3 ETAPAS DE CÁLCULO

Após o usuário inserir os dados desejados na ferramenta, tem-se a opção de clicar no botão “Calcular” ilustrado na Figura 27. Este fará com que os códigos iniciem a manipulação dos valores e efetuem as operações numéricas.

Figura 27 - Botão Calcular



Fonte: Autoria própria (2018)

Os cálculos a serem demonstrados utilizarão valores numéricos para a melhor visualização das contas e métodos de manipulação de dados utilizados em todas as etapas, os valores utilizados estão na Tabela 1. A representação no espaço (x,y,z) da embarcação, seguirá as referências como sendo ponto 0 na popa da embarcação, em seu plano diametral no ponto mais baixo do casco, em que x se refere ao comprimento, y a boca e z ao calado ou pontal da embarcação.

Tabela 1 - Dados de cálculo

Entrada	Valor	Unidade
L _{OA}	20,16	m
B _{OA}	5,6	m
D _C	2,2	m
T _C	0,4	m
Perfil de Navegação	Regata	-

Fonte: Autoria própria (2018)

4.3.1 Cálculo da linha d'água

Ao dar entrada no valor de calado, a ferramenta inicia a interpolação linear com os pontos da baliza, sua lógica inicialmente busca, na tabela de cotas, valores de “z” em que o de calado T_c satisfaça a inequação $z_n < T_c < z_{n+1}$

Ao ter essa relação satisfeita, é realizada a interpolação linear conforme a Equação 13 para encontrar seu respectivo valor no eixo y, isolando o valor de B_{wl} .

$$\frac{y_n - y_{n+1}}{z_n - z_{n+1}} = \frac{y_n - B_{wl}}{z_n - T_c} \quad (13)$$

A Tabela 2 demonstra um exemplo deste cálculo para uma baliza, destacando em vermelho os valores que a ferramenta utilizou para executar a operação e o resultado de B_{wl} obtido.

Tabela 2 - Cálculo de B_{wl} para uma seção para $T=0,40$ m

n	x[m]	y[m]	z[m]
1	10,00	2,56	1,98
2	10,00	2,56	1,55
3	10,00	2,53	1,13
4	10,00	2,37	0,73
5	10,00	2,08	0,42
6	10,00	1,70	0,22
7	10,00	1,29	0,10
8	10,00	0,86	0,04
9	10,00	0,43	0,01
10	10,00	0,00	0,00
B_{wl}			2,04 m

Fonte: Autoria própria (2018)

Nota-se que ao aplicar a Equação 13 o resultado será negativo, então multiplica-se o valor final por “-1” para mantê-lo positivo para os demais cálculos.

Ao finalizar os cálculos para todas as balizas da embarcação, uma nova tabela é desenvolvida com valores das distâncias longitudinais das seções e suas respectivas bocas em linha d’água, conforme a Tabela 3.

Visando assumir o valor correto de comprimento de linha d’água da embarcação, novas condições e interpolações são verificadas nesta tabela.

Considerando L_1 o ponto de intersecção do casco com a água a ré da embarcação, e L_2 o ponto de intersecção do casco com a água a vante, tem-se:

Para L_2 :

$$\text{se } y_n = 0 \text{ e } y_{n-1} = 0 \text{ então } L_2 = x_{n-1}; \quad (14)$$

Senão

$$\text{se } y_n = 0 \text{ e } y_{n-1} \neq 0 \text{ então } L_2 = \frac{x_{n-1} - x_n}{z_{n-1} - z_n} * (z_{n-1} - T_c) - x_{n-1}; \quad (15)$$

Senão

$$\text{se } y_n > 0 \text{ e } y_{n-1} \neq 0 \text{ então } L_2 = x_n; \quad (16)$$

Para L_1 :

$$\text{se } y_n = 0 \text{ e } y_{n+1} = 0 \text{ então } L_1 = x_{n+1}; \quad (17)$$

Senão

$$\text{se } y_n = 0 \text{ e } y_{n+1} \neq 0 \text{ então } L_2 = \frac{x_n - x_{n+1}}{z_n - z_{n+1}} * (T_x - z_{n+1}) - x_{n+1}; \quad (18)$$

Senão

$$\text{se } y_n \geq 0 \text{ e } y_{n+1} \neq 0 \text{ então } L_1 = x_n; \quad (19)$$

Onde:

y_n é a boca em linha d’água na seção n.

x_n é a posição longitudinal da seção n.

z_n é a intersecção da seção n com o plano diametral do casco.

Por fim o resultado final de comprimento em linha d’água da embarcação será dado por $L_{wl} = L_2 - L_1$.

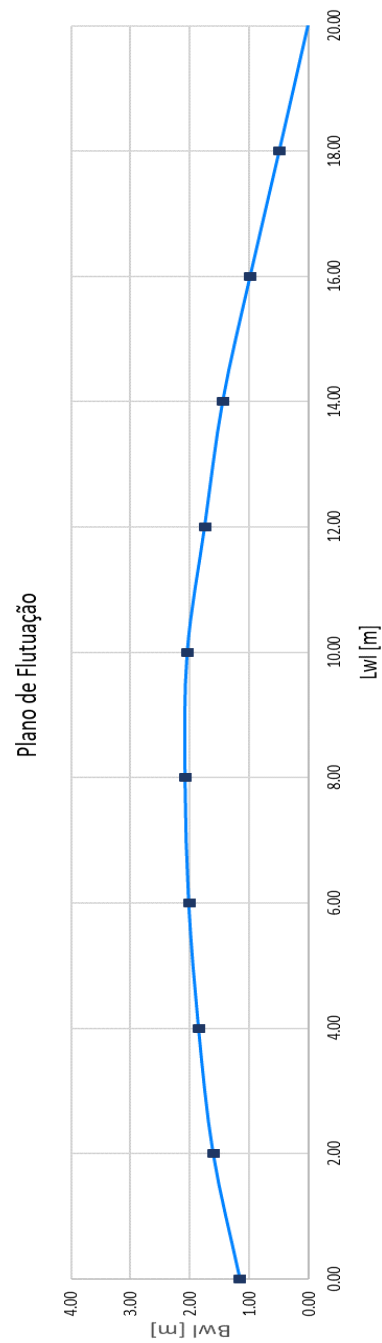
Tabela 3 – Desenvolvimento da linha d'água

n	x[m]	y [m]
1	0,00	1,15
2	2,00	1,60
3	4,00	1,85
4	6,00	2,01
5	8,00	2,07
6	10,00	2,04
7	12,00	1,74
8	14,00	1,44
9	16,00	0,98
10	18,00	0,49
11	20,02	0,00

Fonte: Autoria própria (2018)

A Figura 28 ilustra graficamente o plano de flutuação obtido a partir dos valores da Tabela 3, observando-se que neste caso o valor de L_{wl} será 20,02 metros e que esta é a representação de 50% do plano, considerando seu plano diametral.

Figura 28 – Cálculo do Plano de Flutuação



Fonte: Autoria própria (2018)

A partir dos valores encontrados, verifica-se a possibilidade de calcular a área do plano de flutuação, assim como o seu centro longitudinal de flutuação (LCF). Para realizar estes cálculos, a ferramenta utiliza os métodos de regra de Simpson apresentados nas Equações 10 e 11 para cálculo de área e momento de área respectivamente, visto que as balizas apresentam

espaçamentos constantes como pode ser confirmado pela diferença entre distancias das balizas, $\Delta x = x_{n+1} - x_n = cte$, e então para conseguinte definir seu centroide.

Utilizando os dados da Tabela 3, foram realizados os cálculos em novas colunas com os valores de multiplicadores da regra de Simpson (M.S) seguindo a correta sequência numérica e de ordem conforme Equação 10, e então efetuado o somatório de valores para ao fim aplicar as Equações 20 e 21, de acordo com a Tabela 4.

$$A_{wp} = 2 \frac{\Delta x}{3} \cdot \sum A \quad (20)$$

$$I_{PF} = 2 \frac{\Delta x}{3} \cdot \sum M_y \quad (21)$$

Tabela 4 - Área do plano de Flutuação e Centro de Flutuação

n	x	y	M.S	A	x*y	My
1	0,00	1,15	1	1,15	0,00	0,00
2	2,00	1,60	4	6,41	3,20	12,82
3	4,00	1,85	2	3,70	7,39	14,79
4	6,00	2,01	4	8,05	12,08	48,31
5	8,00	2,07	2	4,15	16,60	33,19
6	10,00	2,04	4	8,15	20,38	81,52
7	12,00	1,74	2	3,49	20,94	41,87
8	14,00	1,44	4	5,76	20,17	80,70
9	16,00	0,98	2	1,96	15,65	31,30
10	18,00	0,49	4	1,95	8,78	35,10
11	20,02	0,00	1	0,00	0,00	0,00
			A_{wp}	59,69 m ²	I_{PF}	506,14 m ³

Fonte: Autoria própria (2018)

Assim, é atingido o resultado de área do plano de linha d'água e seu primeiro momento de área. Com estes, visando calcular o centro longitudinal de flutuação a ferramenta aplica a Equação 22.

$$x_{LCF} = \frac{I_{PF}}{A_{wp}} = 8,48 \text{ m} \quad (22)$$

4.3.2 Cálculo de área das balizas

Obtidas as dimensões da embarcação que se encontram abaixo do plano de flutuação, é possível calcular as áreas submersas de cada seção, para conseguinte calcular seu deslocamento.

Primeiramente, a ferramenta analisa os valores da baliza que estão acima do calado e os considera com o valor de área igual a zero, para aqueles abaixo do calado, utilizando a área de um trapézio conforme a Equação 23 com os valores de y como suas bases e valores de z como altura, é obtido o somatório destas áreas resultando na área submersa da baliza.

$$A_{\text{trapézio}} = \frac{(y_n + y_{n+1})(z_n - z_{n+1})}{2} \quad (23)$$

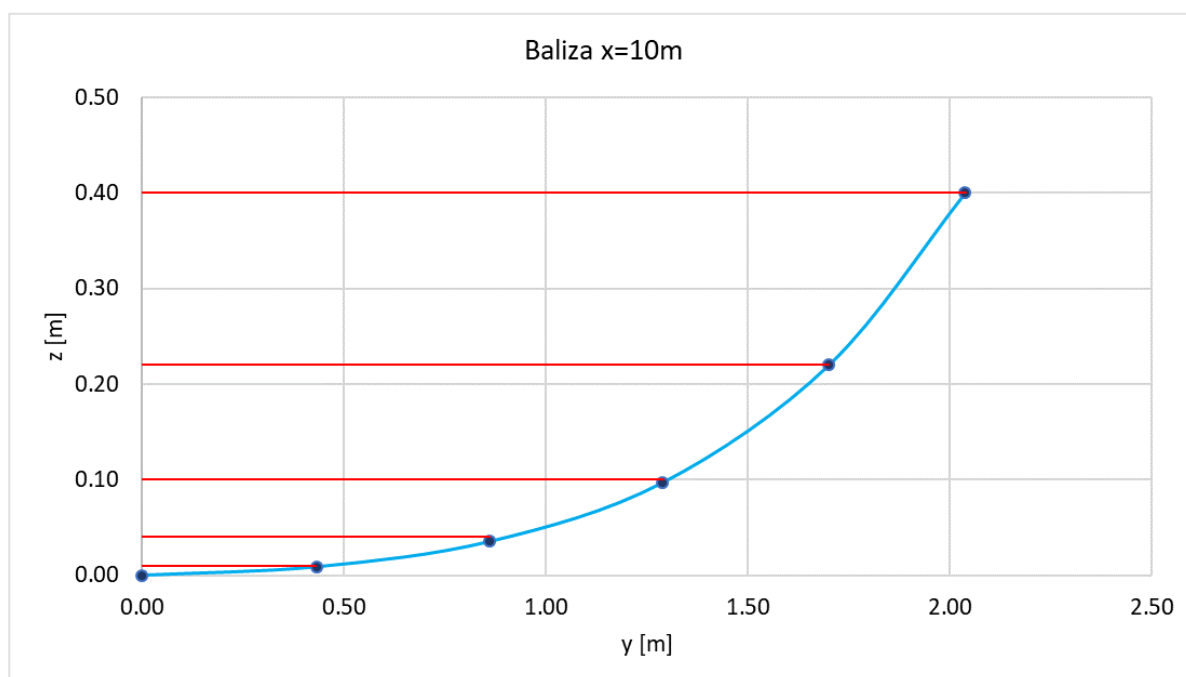
Neste caso não é utilizada a Equação 8 demonstrada na fundamentação teórica devido as diferenças de alturas não obterem valores constantes verificando por $\Delta z = z_{n+1} - z_n \neq cte$, também considerado na Tabela 5 e na Figura 29, destacando em vermelho os valores da linha d'água.

Tabela 5 - Cálculo de área da baliza

n	y [m]	z [m]	$y_n + y_{n+1}$	Δz	Área do trapézio [m²]
1	2,56	1,98			0,00
2	2,56	1,55			0,00
3	2,53	1,13			0,00
4	2,37	0,73			0,00
5	2,08	0,42			0,00
6	2,04	0,40	3,74	0,18	0,34
7	1,70	0,22	2,99	0,12	0,18
8	1,29	0,10	2,15	0,06	0,07
9	0,86	0,04	1,29	0,03	0,02
10	0,43	0,01	0,43	0,01	0,00
11	0,00	0,00			
$\sum A =$					0,61 m²

Fonte: Autoria própria (2018)

Figura 29 - Área da baliza submersa



Fonte: Autoria própria (2018)

Vale ressaltar que os valores acima estão considerando metade da baliza, visto que esta possui valores iguais espelhando-a no plano diametral da embarcação.

Ao obter os valores referentes a todas as balizas, uma nova tabela pode ser desenvolvida, relacionando comprimento e áreas seccionais, conforme a Tabela 6.

Tabela 6 - Comprimento x Área das seções

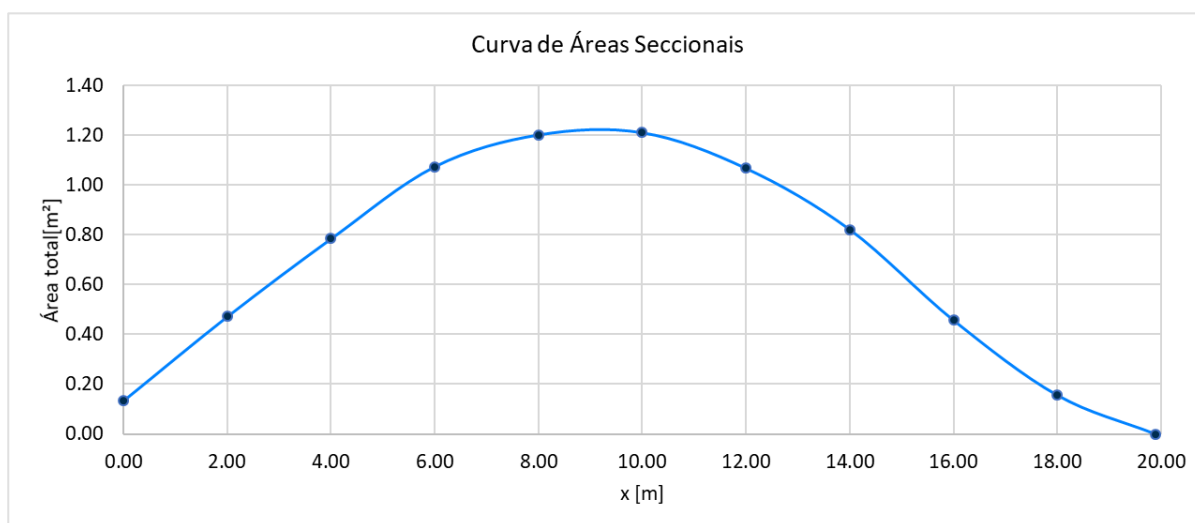
n	x [m]	1/2 Área [m²]	Área total[m²]
1	0,00	0,07	0,13
2	2,00	0,24	0,47
3	4,00	0,39	0,78
4	6,00	0,54	1,07
5	8,00	0,60	1,20
6	10,00	0,61	1,21
7	12,00	0,53	1,07
8	14,00	0,41	0,82
9	16,00	0,23	0,46
10	18,00	0,08	0,16
11	20,02	0,00	0,00

Fonte: Autoria própria (2018)

Com estes valores, torna-se possível a construção da curva de áreas seccionais do casco, esta, que conforme descrito anteriormente, fornece valores importantes a respeito da embarcação. A Figura 30 utiliza os valores da Tabela 6 para o desenvolvimento desta curva.

A ferramenta buscará dentro dos valores calculados, qual das balizas possuem a maior área, utilizando-a como resultado de seção mestra da embarcação A_m , que será retornado ao usuário e utilizado para demais manipulações numéricas.

Figura 30- Curva SAC calculada



Fonte: Autoria própria (2018)

De maneira a calcular o deslocamento da embarcação e seu centro longitudinal de empuxo, de maneira semelhante ao item anterior, aplica-se a regra de Simpson para calcular a área e momento de área da curva de áreas seccionais.

Como pode ser verificado na Tabela 7, já se obtém o resultado das áreas da seção n multiplicado por seu multiplicador de Simpson (M.S) respectivo. Assim utilizando a Equação 8, e resultados desta tabela, tem-se o cálculo de deslocamento da embarcação conforme solução da Equação 24.

$$\nabla = \frac{\Delta x}{3} * \sum (M.S * \text{Áreas}) = 14,73m^3 \quad (24)$$

Tabela 7 - Cálculo do Deslocamento

n	x [m]	Área [m²]	M.S	M.S *Área[m²]
1	0,00	0,13	1	0,13
2	2,00	0,47	4	1,89
3	4,00	0,78	2	1,57
4	6,00	1,07	4	4,30
5	8,00	1,20	2	2,40
6	10,00	1,21	4	4,84
7	12,00	1,07	2	2,14
8	14,00	0,82	4	3,29
9	16,00	0,46	2	0,91
10	18,00	0,16	4	0,63
11	20,02	0,00	1	0,00
Δx	2,00	$\Sigma(M.S * \text{Área})$		22,10

Fonte: Autoria própria (2018)

De maneira análoga, é possível calcular o centro longitudinal de empuxo (LCB), utilizando o cálculo do primeiro momento de área através da fórmula de Simpson conforme a Equação 11. Desta forma, adiciona-se uma nova coluna da Tabela 6 representando os valores dos produtos de áreas com suas distâncias longitudinais, ($x * A$).

A Tabela 8 apresenta os valores calculados das colunas para cada baliza da embarcação, desta forma a Equação 25 é utilizada para alcançar o resultado de LCB já incluído a fórmula de Simpson no cálculo de centroide de área.

Tabela 8 - Cálculo de LCB

n	x*Área [m³]	M.S	M.S *x*Área [m³]
1	0,00	1	0,00
2	0,94	4	3,77
3	3,14	2	6,28
4	6,45	4	25,79
5	9,62	2	19,23
6	12,11	4	48,44
7	12,81	2	25,62
8	11,50	4	46,01
9	7,32	2	14,63
10	2,81	4	11,25
11	0,00	1	0,00
$\Sigma(MS * x * A)$			134,03

Fonte: Autoria própria (2018)

$$x_{LCB} = \frac{\left(\frac{\Delta x}{3} \cdot \sum (MS \cdot x \cdot A)\right)}{\nabla} = 9,10m \quad (25)$$

Vale ressaltar que os valores indicados estão sendo utilizados para exemplificar os cálculos utilizados neste trabalho, tais valores variam de acordo com os dados de entrada do usuário na ferramenta.

4.3.3 Desenvolvimento das linhas limites do casco

Acompanhando as etapas da ferramenta, logo após os cálculos das informações da carena da embarcação, o programa atualiza os gráficos contendo as curvas limites do casco referente ao projeto do usuário.

Além das balizas, outras duas curvas são plotadas, a curva do perfil do convés e a curva da quilha no plano diametral do casco, em $y = 0$.

Para a definição destas, o programa busca os valores máximos de altura da baliza n e utiliza a grandeza de boca relacionado a este para o contorno do convés, e da mesma forma, busca a menor grandeza de altura da baliza n na condição z_n para $y_n = 0$ no contorno da quilha. Após esta verificação para todas as balizas, os gráficos são atualizados em seus valores máximos com referência as dimensões da embarcação através de um código VBA para que mantenham uma boa visualização seguindo a seguinte lógica.

Para o plano de balizas:

Escala automatica de limites de eixo = Verdadeiro
se Limite eixo horizontal > Limite eixo vertical, então:
Limite vertical = Limite horizontal
se não:
Limite horizontal = Limite Vertical

Para os planos de alto e linha d'água:

Limite do eixo horizontal = L_{oa}
Limite do eixo vertical = Limite dos eixos do plano de balizas

A Tabela 9 representa numericamente os valores descritos, e a Figura 31 apresenta graficamente a construção destas curvas com a inclusão de todas as balizas. Notando que os eixos verticais exibem valores de y e z, e o eixo horizontal valores de x.

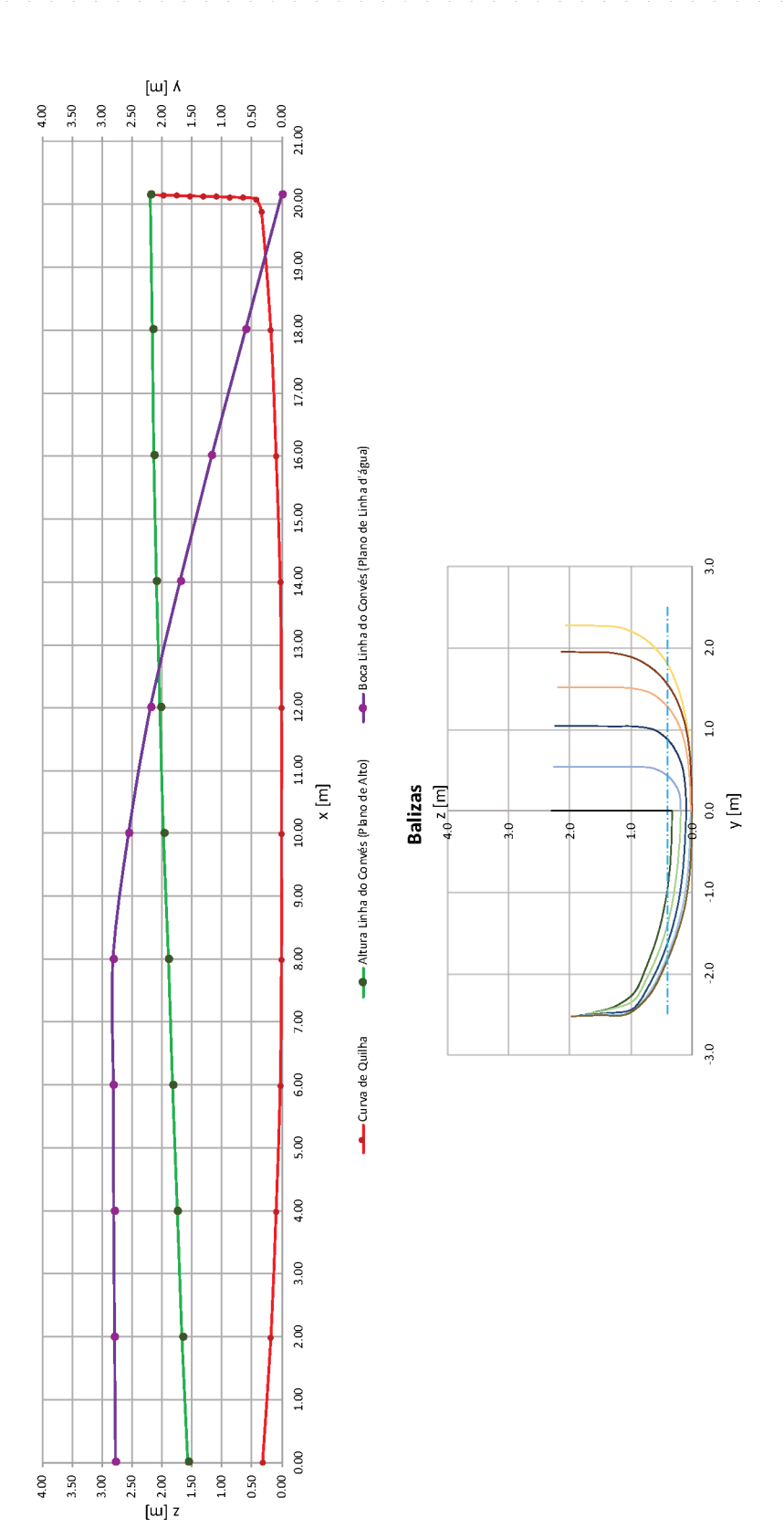
Constata-se que na coluna da curva de quilha, os valores adicionais às demais curvas representam a roda de proa da embarcação, desta maneira se torna possível a projeção completa da quilha no plano diametral ao longo do comprimento total da embarcação.

Tabela 9 - Valores de Curvas limites do casco

x	Altura Linha do Convés (Plano de Alto)	Boca Linha do Convés (Plano de Linha d'água)	Curva de Quilha
0,00	1,57	2,78	0,32
2,00	1,67	2,80	0,18
4,00	1,74	2,81	0,09
6,00	1,82	2,82	0,02
8,00	1,89	2,82	0,00
10,00	1,98	2,56	0,00
12,00	2,04	2,20	0,00
14,00	2,10	1,71	0,02
16,00	2,14	1,17	0,09
18,00	2,17	0,61	0,18
20,16	2,20	0,00	2,20
20,15	-	-	1,98
20,14	-	-	1,76
20,14	-	-	1,54
20,13	-	-	1,31
20,13	-	-	1,09
20,12	-	-	0,87
20,11	-	-	0,65
20,08	-	-	0,43
19,89	-	-	0,34

Fonte: Autoria própria (2018)

Figura 31 - Linhas do casco



Fonte: Autoria própria (2018)

É importante salientar que, em alguns casos, as curvas desenvolvidas no programa podem conter uma não suavidade como as que são desenvolvidas em programas CAD através de seus métodos. Assim esta ferramenta propõe apenas representar de maneira visual uma primeira ideia do projeto que o usuário irá modelar.

4.3.4 Cálculo de coeficientes de forma e relações dimensionais

Assim como para as curvas do casco, os resultados dos cálculos executados anteriormente permitem a ferramenta buscar os valores de coeficientes de forma e relações dimensionais da embarcação em sua última etapa de execução.

Utilizando as equações fundamentadas anteriormente, a Tabela 10 traz as informações que estes coeficientes são dependentes, sua formulação e resultados utilizando os dados de exemplo deste trabalho.

Tabela 10 - Cálculo de Coeficientes de forma

Coeficiente de Forma	Dependentes	Formulação	Resultados
C_b	$\nabla, L_{wl}, B_{wl}, T_c$	$C_b = \frac{\nabla}{L_{wl}B_{wl}T_c}$	0,44
C_p	∇, A_x, L_{wl}	$C_p = \frac{\nabla}{A_x L_{wl}}$	0,61
C_{wp}	A_{wp}, L_{wl}, B_{wl}	$C_{wl} = \frac{A_{wp}}{L_{wl}B_{wl}}$	0,72
C_x	A_x, B_{wl}, T_c	$C_x = \frac{A_x}{B_{wl}T_c}$	0,73

Fonte: Autoria própria (2018)

Com estes valores, o usuário poderá confrontar às suas necessidades e também para a realização de análises mais aprofundadas de projeto, como por exemplo o cálculo de resistência ao avanço.

Além dos coeficientes acima, a ferramenta também retorna valores de relações dimensionais, as quais, de maneira análoga, podem ser utilizadas em outras verificações ao longo do projeto. São elas as razões comprimento por boca em linha d'água, boca por calado

do casco nu e razão comprimento por deslocamento em raiz cúbica. A Tabela 11 apresenta brevemente suas formulações.

Tabela 11 - Relações dimensionais

Relação	Resultado
$\frac{L_{wl}}{B_{wl}}$	4,82
$\frac{B_{wl}}{T_c}$	10,37
$\frac{L_{wl}}{\nabla^{1/3}}$	8,17

Fonte: Autoria própria (2018)

Desta forma, a execução da ferramenta é finalizada, e o usuário terá os resultados em uma tabela, junto da visualização de seu projeto com as principais curvas paramétricas do casco.

4.3.5 Tabela de cotas final

Como objetivo deste trabalho, ao fim da execução da ferramenta, o usuário terá a opção de salvar a tabela de cotas da embarcação, selecionando através de um botão “Salvar Tabela de Cotas”, como ilustrado na Figura 32.

Figura 32 - Botão salvar tabela de cotas



Fonte: Autoria própria (2018)

Ao clicar neste, a planilha solicitará o local em que a tabela em formato “txt” deverá ser arquivada. Resultando assim em um arquivo de bloco de notas que pode ser importado por diversos programas de modelagem geométrica presentes no mercado. A Figura 33 demonstra um resultado de um arquivo neste formato.

Figura 33 - Arquivo txt da Tabela de Cotas

Projeto 01-out-18 - Notepad

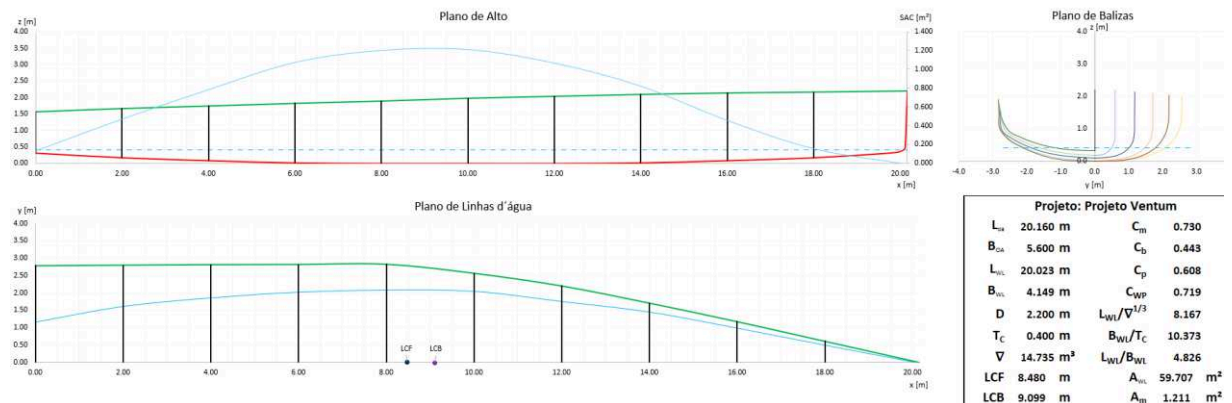
File	Edit	Format	View	Help
0.28809472	1.910830532	1.549072966		
0.193758647	1.875052983	1.291831405		
0.120481925	1.790482387	1.040485747		
0.082252082	1.601546511	0.84559134		
0.057757605	1.354447615	0.725393946		
0.038946457	1.092643388	0.63878818		
0.024286881	0.823806667	0.576231116		
0.013432559	0.550890436	0.533554785		
0.005661516	0.275940854	0.505669676		
0	0	0.489519983		
0.4	1.919462556	1.552110041		
0.4	1.873037347	1.270464489		
0.4	1.806310133	0.994850796		
0.4	1.627051025	0.773508216		
0.4	1.39823347	0.604449822		
0.4	1.133627199	0.498856315		
0.4	0.854592373	0.439686915		
0.4	0.570677323	0.411035808		
0.4	0.285437755	0.400832169		
0.4	0	0.399		
1.6	2.010035679	1.548629109		
1.6	1.97211894	1.244226235		
1.6	1.917972147	0.943539234		
1.6	1.729949101	0.702977689		
1.6	1.490968473	0.511712711		
1.6	1.214329266	0.380599335		
1.6	0.917539501	0.304425705		
1.6	0.613033596	0.268409974		
1.6	0.306705803	0.252656839		
1.6	0	0.252497286		
2.8	2.094049786	1.566160069		

Fonte: Autoria própria (2018)

4.3.6 Resultado gráfico apresentado ao usuário

Assim como o usuário poderá salvar seus resultados, a ferramenta lhe fornecerá em sua interface os principais resultados dos cálculos realizados anteriormente apresentando-se na forma de um layout de plano de linhas de um projeto, assim como apresentado na Figura 34.

Figura 34 - Resultado gráfico da ferramenta



Fonte: Autoria própria (2018)

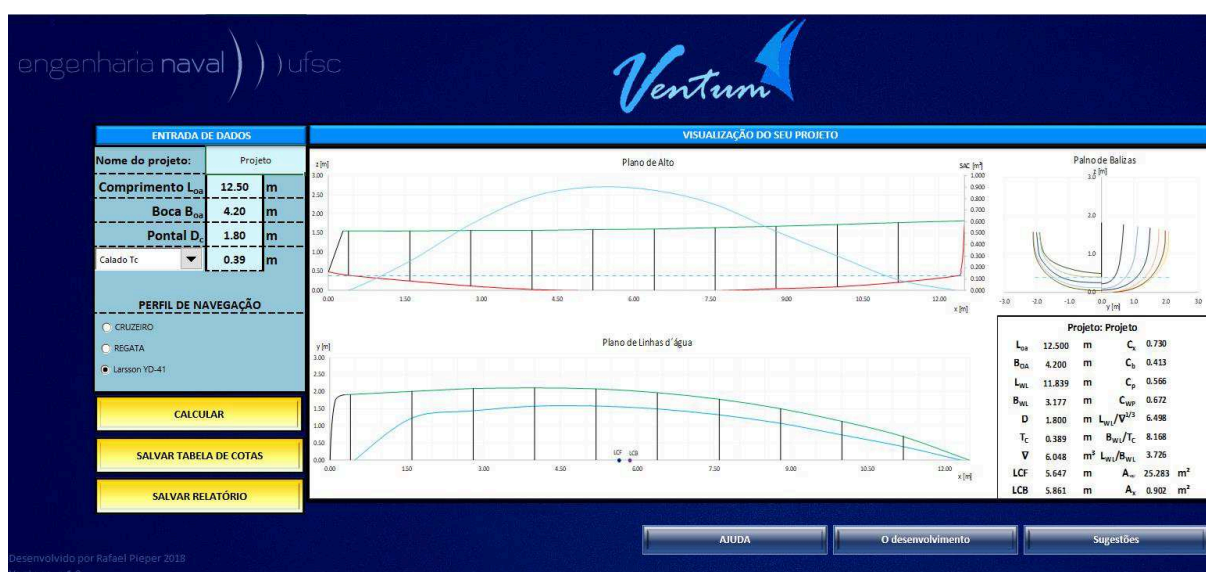
Verifica-se que é fornecido as curvas características do casco da embarcação, sua curva de áreas seccionais junto do plano de alto, sendo referenciada ao eixo secundário vertical, e seus resultados hidrostáticos para o calado ou volume deslocado fornecido na entrada de dados.

Sendo assim, o usuário terá a oportunidade de realizar demais análises numéricas em conjunto da realização da modelagem geométrica.

4.4 INTERFACE FERRAMENTA-USUÁRIO

Pensando na utilização por diversos usuários, a ferramenta possui uma interface de trabalho que visa ser intuitiva, com os resultados apresentados logo após a execução, e possibilidades de interação. Na Figura 35, é apresentada a visão geral na abertura do programa.

Figura 35 - Visão geral da ferramenta



Fonte: Autoria própria (2018)

As alternativas de interação usuário-programa são possibilidade de salvar um relatório contendo as informações principais, abrir uma janela de ajuda, abrir uma página da internet redirecionada para este trabalho e a opção de fornecer sugestões e opiniões a respeito da ferramenta em um formulário online.

4.4.1 Salvar relatório

Ao selecionar a opção de salvar relatório em formato “PDF”, a ferramenta solicitará o diretório em que se deseja arquivar este, o nome do arquivo será o nome do projeto informado na entrada de dados do programa.

Este conterá as informações e resultados de todos os cálculos hidrostáticos descritos anteriormente, terá a imagem da curva de áreas seccionais e a imagem semelhante à Figura 34 possibilitando a visualização das curvas características da embarcação em projeto. O formato de relatório pode ser verificado no Apêndice B deste trabalho.

4.4.2 Janela de ajuda

Pensando em possíveis dúvidas que o usuário possa ter com os dados a serem inseridos, desenvolveu-se uma janela de ajuda, que explica brevemente cada item da interface. Ao selecionar o botão ajuda, o menu ilustrado na Figura 36 irá aparecer.

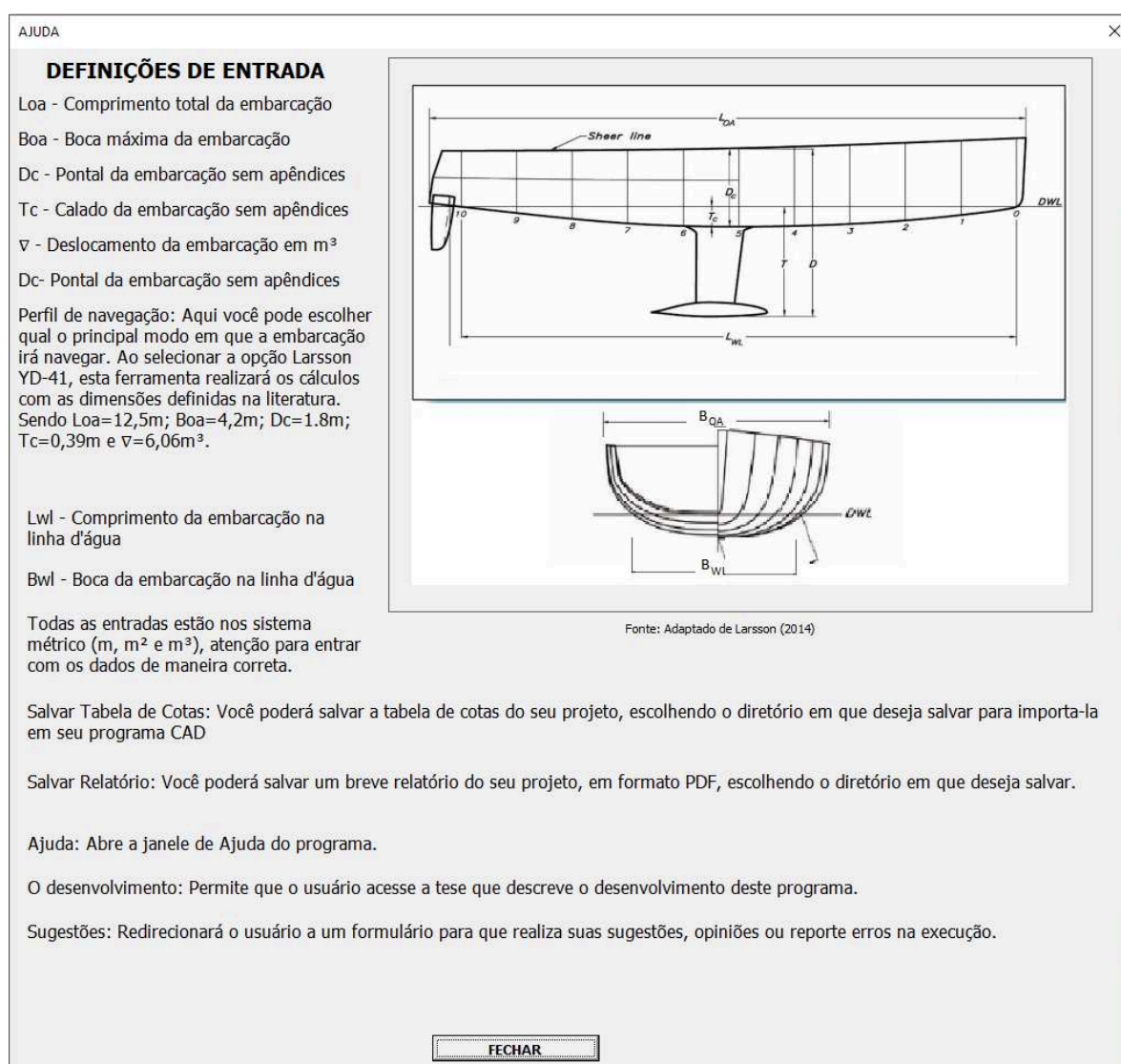
Este foi desenvolvido utilizando a propriedade “UserForm” que encontrada na janela de programação VBA do Excel.

As descrições contidas nesta janela são:

- L_{oa} - Comprimento total da embarcação
- B_{ao} - Boca máxima da embarcação
- D_c - Pontal da embarcação sem apêndices
- T_c - Calado da embarcação sem apêndices
- ∇ - Deslocamento da embarcação em m^3
- Perfil de navegação: Aqui você pode escolher qual o principal modo em que a embarcação irá navegar. Ao selecionar a opção Larsson YD-41, esta ferramenta realizará os cálculos com as dimensões definidas na literatura. Sendo $L_{oa}=12,5m$; $B_{oa}=4,2m$; $D_c=1.8m$; $T_c=0,39m$ e $\nabla=6,06m^3$.
- L_{wl} - Comprimento da embarcação na linha d'água
- B_{wl} - Boca da embarcação na linha d'água
- Todas as entradas estão no sistema métrico (m, m^2 e m^3), atenção para entrar com os dados de maneira correta.

- Salvar Tabela de Cotas: Você poderá salvar a tabela de cotas do seu projeto, escolhendo o diretório em que deseja salvar para importá-la em seu programa CAD.
- Salvar Relatório: Você poderá salvar um breve relatório do seu projeto, em formato PDF, escolhendo o diretório em que deseja salvar.
- Ajuda: Abre a janela de Ajuda do programa.
- O desenvolvimento: Permite que o usuário acesse a dissertação que descreve o desenvolvimento deste programa.
- Sugestões: Redirecionará o usuário a um formulário para que realize suas sugestões, opiniões ou reporte erros na execução.

Figura 36 - Menu ajuda



Fonte: Autoria própria (2018)

4.4.3 O desenvolvimento

Selecionando a opção “O desenvolvimento”, a ferramenta redirecionará o usuário para a página da internet na qual encontra-se este trabalho, para que tenha a oportunidade de conhecer os passos e etapas do desenvolvimento do programa em questão.

4.4.4 Sugestões

O principal propósito de envio de sugestões e opiniões a respeito deste trabalho é o interesse em mantê-lo em uso para acadêmicos durante o desenvolvimento de seus projetos e pesquisas relacionados a veleiros. Desta forma, ao receber sugestões, possibilitará conhecer quais serão os principais propósitos de utilização da ferramenta e manter em atualização com novas ideias. O formulário completo de sugestões pode ser conferido no Apêndice C deste trabalho.

Nesta seleção existe a possibilidade de reportar passíveis erros de execução do programa, possibilitando a possibilidade de correção destes e atualização com as devidas correções realizadas. O usuário poderá descrever o erro e também anexar uma imagem que demonstre o erro ocorrido, facilitando o reconhecimento da origem do mesmo.

4.4.5 Informativo de erro

Como visualizado no fluxograma da Figura 22, existe a possibilidade de o usuário informar as dimensões erradas. Desta maneira, considerou-se aplicação de verificar as relações dimensionais informadas para que o resultado tenha o retorno esperado.

A ferramenta verifica se as seguintes relações são satisfeitas.

$$\frac{L_{oa}}{B_{oa}} > 1 \quad (26)$$

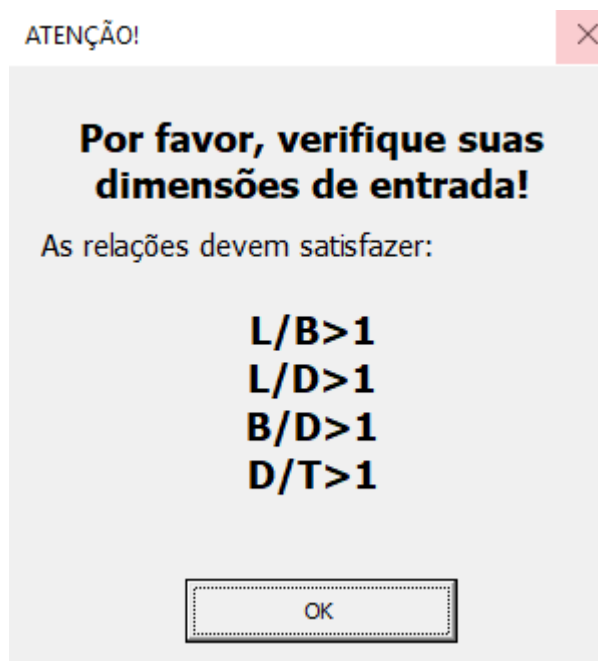
$$\frac{L_{oa}}{D_c} > 1 \quad (27)$$

$$\frac{B_{oa}}{D_c} > 1 \quad (28)$$

$$\frac{D_c}{T_c} > 1 \quad (29)$$

Caso alguma destas forem falsas, uma janela informando que existe um erro de relação dimensional é aberta, como mostra a Figura 37, e então a execução de cálculo é cancelada.

Figura 37 - Informativo de erro



Fonte: Autoria Própria (2018)

5 RESULTADOS E COMPARAÇÕES.

Este capítulo tem o objetivo de demonstrar os resultados obtidos na ferramenta desenvolvida funcionando, comparando com os dados coletados da literatura e de modelos produzidos em CAD, utilizando o programa Rhinoceros, a partir da tabela de cotas gerada na ferramenta desenvolvida. A comparação será feita com o projeto de Larsson e Eliasson YD-41, e com o modelo CAD fornecido gentilmente pela diretoria técnica de uma equipe da Volvo Ocean Race. Visto que o programa desenvolvido não tem o intuito de realizar cópias fiéis dos cascos comparados, as diferenças presentes são devido à distinção da geometria do casco real para com o desenvolvido pela ferramenta “Ventum” além métodos de cálculos realizados e construção gráfica.

5.1 COMPARATIVO COM A LITERATURA

Primeiramente, utilizou-se os valores propostos por Larsson e Eliasson (2014) em seu projeto, nomeado YD-41, para a realização do estudo comparativo e de precisão da ferramenta “Ventum”, assim como com o modelo CAD desenvolvido pela tabela de cotas resultante.

A Tabela 12 apresenta os valores e opções que foram selecionadas como dados de entrada para a execução dos cálculos.

Tabela 12 - Dados para conferência

Entrada	Valor
L_{oa} [m]	12,5
B_{oa} [m]	4,2
D_c [m]	1,8
Deslocamento ou Calado	Deslocamento
Valor [m ³]	6,06
Perfil de Navegação	Larsson YD-41

Fonte: Autoria Própria (2018)

Seguindo os passos de modelagem presentes no APÊNDICE D, o casco da embarcação foi modelado e exportado para o programa MaxSurf para análise das dimensões e resultados hidrostáticos.

Obtidos estes valores, a comparação foi realizada com todos os resultados que a ferramenta desenvolvida neste trabalho fornece, a ferramenta Maxsurf ou Rhinoceros e valores fornecidos da literatura, detalhados na Tabela 13, a qual apresenta em sua primeira coluna a propriedade que está sendo calculada, na segunda coluna as suas respectivas unidades de medida, a terceira e quarta coluna apresentam os valores calculados a partir da superfície através do programa Maxsurf e utilizando a ferramenta desenvolvida neste trabalho respectivamente. A quinta coluna da Tabela 13, apresenta o erro em porcentagem entre os métodos. Da mesma forma, este passo é realizado com os valores retirados de Larsson e Eliasson (2014) nas colunas sétima e oitava.

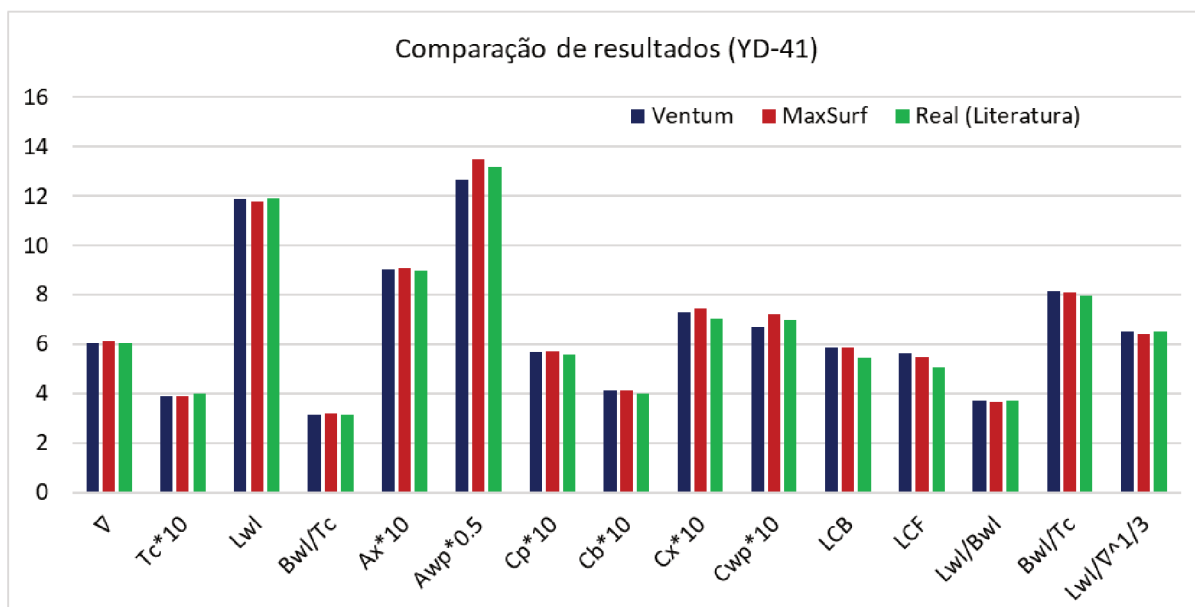
Estes valores também podem ser conferidos de maneira gráfica na Figura 38, contendo valores formatados na mesma ordem de grandeza para melhor visualização.

Tabela 13 – Resultados hidrostáticos YD-41

	Unidade	MaxSurf	Ventum	Porcentagem de diferença [%]	Real (Dados da Literatura)	Porcentagem de diferença [%]
∇	m^3	6,125	6,060	1.06%	6,060	0.00%
T_c	m	0,389	0,389	-0.12%	0,400	2.63%
L_{wl}	m	11,761	11,846	-0.72%	11,900	0.46%
B_{wl}	m	3,187	3,179	0.25%	3,180	0.03%
A_x	m^2	0,907	0,904	0.37%	0,896	-0.85%
A_{wp}	m^2	26,955	25,297	6.15%	26,340	3.96%
C_p		0,574	0,566	1.37%	0,560	-1.09%
C_b		0,416	0,413	0.67%	0,400	-3.21%
C_x		0,743	0,730	1.77%	0,704	-3.62%
C_{wp}		0,719	0,672	6.57%	0,696	3.49%
LCB	m	5,862	5,861	0.02%	5,432	-7.89%
LCF	m	5,503	5,647	-2.62%	5,088	-10.99%
L_{wl}/B_{wl}		3,691	3,726	-0.96%	3,742	0.42%
B_{wl}/T_c		8,108	8,162	-0.67%	7,950	-2.67%
$L_{wl}/\nabla^{1/3}$		6,428	6,497	-1.08%	6,527	0.46%

Fonte: Autoria Própria (2018)

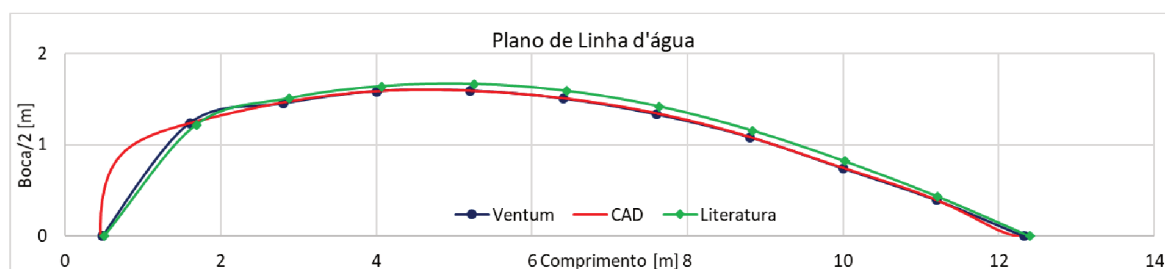
Figura 38 – Resultados hidrostáticos (YD-41)



Fonte: Autoria Própria (2018)

Verifica-se que existem poucas diferenças nos valores obtidos, sendo a maior variação referente ao plano de linha d'água. Esta se dá ao método utilizado no desenvolvimento da linha d'água, que possui como referência apenas as balizas e cálculos de interpolação linear nos extremos, conforme apresentado anteriormente, e a maneira do programa Excel desenvolver seus gráficos, enquanto no programa CAD se utiliza a superfície para cálculos mais precisos. A diferença do plano de linha d'água na ferramenta Ventum, no programa Rhinoceros e com os valores apresentados em Larsson e Eliasson (2014) é apresentada na Figura 39, com metade do plano de flutuação.

Figura 39 - Comparação do plano de linha d'água (YD-41)

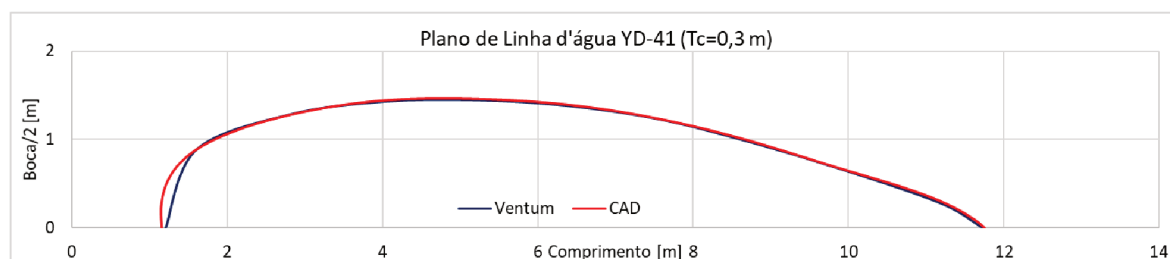


Fonte: Autoria Própria (2018)

A diferença ressalta o que foi descrito no item 2.5.3 deste trabalho a respeito da inserção de balizas intermediárias na proa e na popa da embarcação para obter melhores resultados nas curvas de casco.

Porém quando os cálculos das interpolações são próximos das balizas, conforme a variação do calado, o resultado se torna mais preciso, como ilustra a Figura 40.

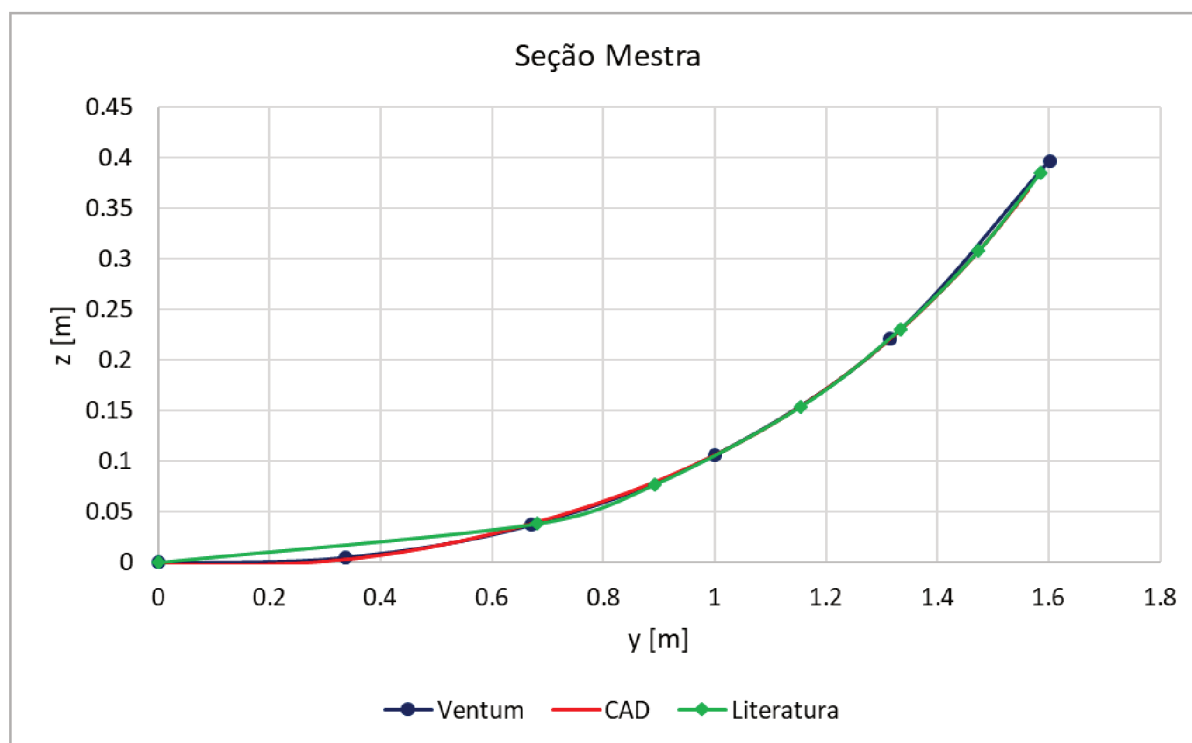
Figura 40 - Comparação do plano de linha d'água em diferente calado



Fonte: Autoria Própria (2018)

Assim como a linha d'água, a seção mestra pode ser comparada entre os dados das três diferentes fontes. A Figura 41 ilustra o comparativo, podendo notar uma pequena variação na curvatura de fundo do casco obtida com os pontos da literatura.

Figura 41 – Comparação de Seção Mestra (YD-41)

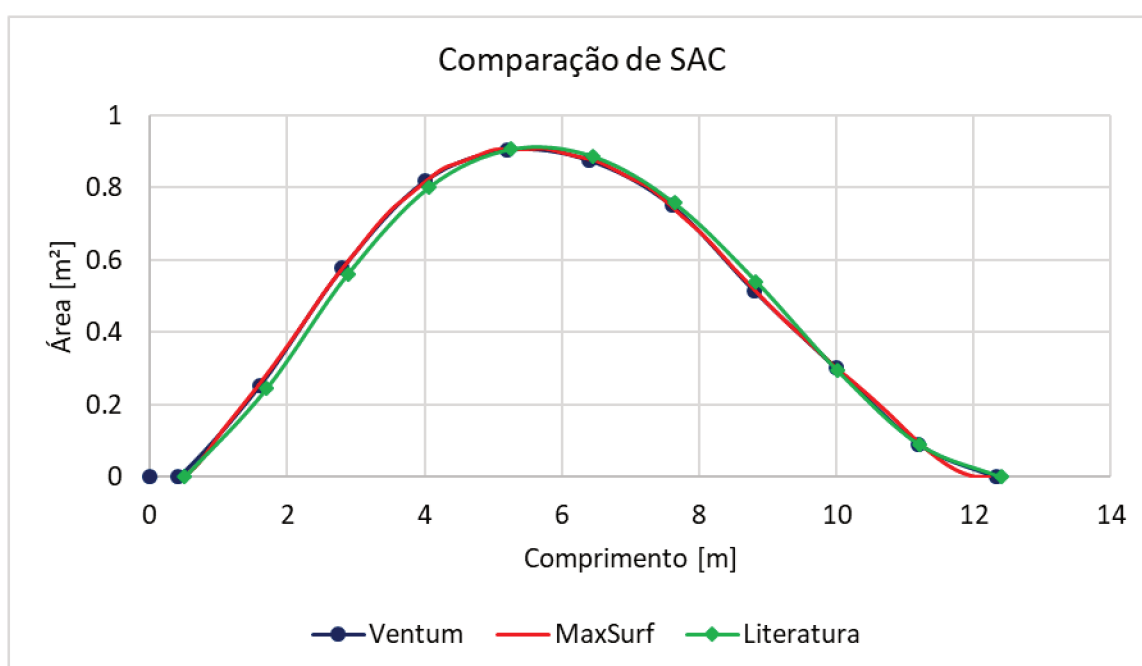


Fonte: Autoria Própria (2018)

A diferença pode estar relacionada com a posição dos pontos de referência utilizados para o desenvolvimento da curva, demonstrado com os marcadores na Figura 41.

Por fim, também é realizada a comparação entre as curvas de áreas seccionais, com os dados de área submersa de cada baliza, conforme ilustrado na Figura 42. O comparativo apresenta resultados semelhantes, verificando uma boa precisão nestes cálculos realizados pela ferramenta.

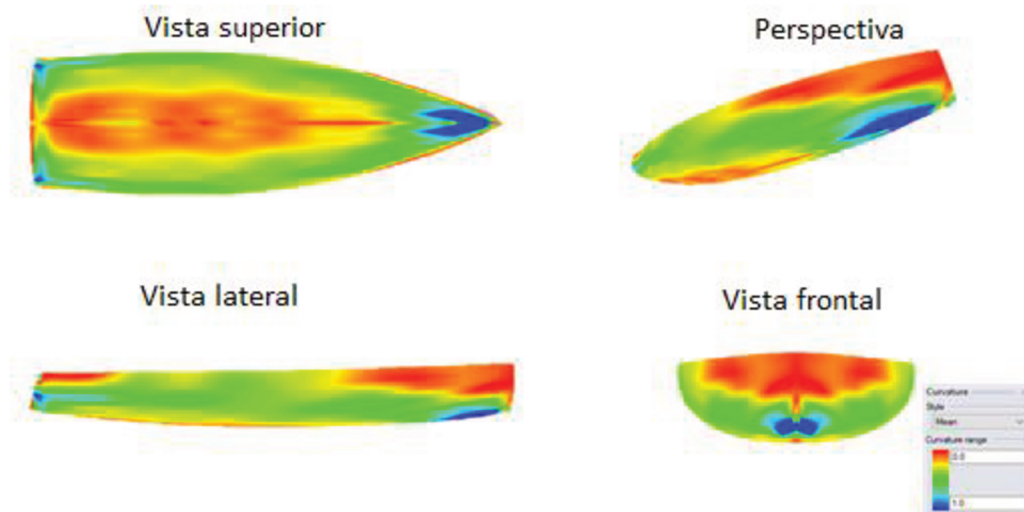
Figura 42 - Comparativo SAC (YD-41)



Fonte: Autoria Própria (2018)

Visando averiguar o resultado do casco obtido a partir da tabela de cotas, a Figura 43 ilustra a análise de curvatura do casco modelado, utilizando o programa Rhinoceros. Nota-se que as curvaturas não são ótimas, como apresentado em Larsson e Eliasson, porém é possível observar que não há mudanças abruptas ao longo do casco, sem que seja nas balizas de proa, que possuem um raio de curvatura menor, como é visto em azul nas curvaturas de menor raio, e curvaturas de grandes raios em vermelho.

Figura 43 - Análise de Curvatura do casco (YD-41)

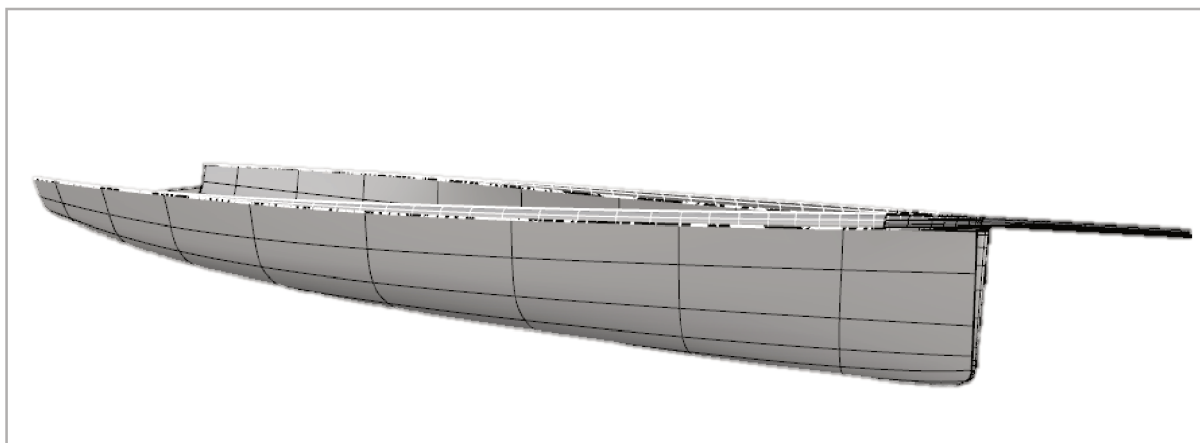


Fonte: Autoria Própria (2018)

5.2 CASO REAL – VO70

Para verificar que os resultados são satisfatórios relacionado com casos reais de embarcações, este tópico demonstra o comparativo com a embarcação VOLVO OPEN 70, com o modelo 3D do casco fornecido cordialmente pela diretoria técnica de uma das equipes da Volvo Ocean Race 2011, ilustrado na Figura 44.

Figura 44 – Modelo VO70



Fonte: Cortesia da diretoria técnica da equipe da Volvo Ocean Race.

Utilizando o recurso de cotas do programa Rhinoceros, foram obtidos os valores necessários para os dados de entrada da ferramenta “Ventum”. Para os cálculos hidrostáticos, será utilizado um calado do casco de 0,4 metros.

Na Tabela 14 são apresentados estes valores que são inseridos nos dados de entrada.

Tabela 14 - Dados de entrada (VO70)

Entrada	Valor
L _{oa} [m]	21,5
B _{oa} [m]	5
D _c [m]	2,3
Deslocamento ou Calado	Calado
Valor [m]	0,4
Perfil de Navegação	Regata

Fonte: Autoria Própria (2018)

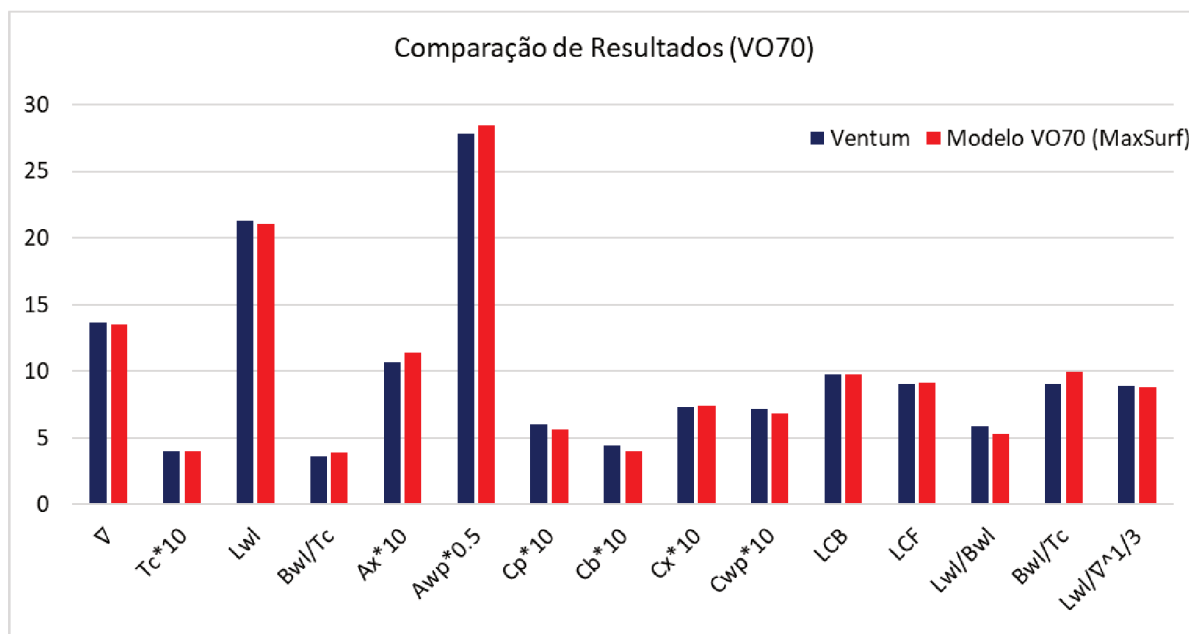
Executados os cálculos e analisado o modelo fornecido nos programas Maxsurf e Rhinoceros, a Tabela 15 expõe os resultados dos dados hidrostáticos alcançados e a Figura 45 o gráfico de barras ilustrando as diferenças.

Tabela 15 - Resultados hidrostáticos (VO70)

	Unidade	Modelo VO70 (MaxSurf)	Ventum	Diferença	Porcentagem de diferença [%]
∇	m³	13.481	13.645	-0.164	-1.22%
T_c	m	0.400	0.400	0.000	0.00%
Lwl	m	21.051	21.317	-0.266	-1.26%
Bwl	m	3.971	3.637	0.334	8.42%
Ax	m²	1.138	1.065	0.073	6.44%
Awp	m²	56.991	55.676	1.315	2.31%
Cp		0.563	0.601	-0.038	-6.78%
Cb		0.404	0.440	-0.036	-8.93%
Cx		0.743	0.732	0.011	1.48%
Cwp		0.682	0.718	-0.036	-5.31%
LCB	m	9.789	9.752	0.037	0.38%
LCF	m	9.122	9.091	0.031	0.34%
Lwl/Bwl		5.301	5.862	-0.561	-10.58%
Bwl/Tc		9.937	9.091	0.846	8.51%
Lwl/∇1/3		8.845	8.921	-0.076	-0.85%

Fonte: Autoria Própria

Figura 45 - Resultados hidrostáticos (VO70)

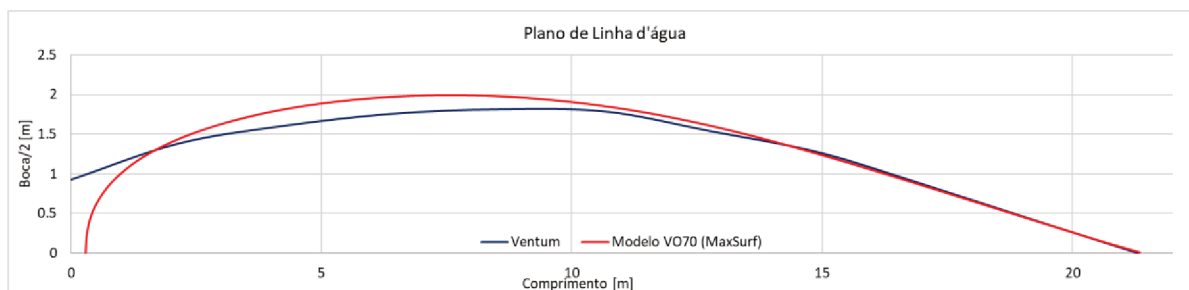


Fonte: Autoria Própria (2018)

Observa-se que os valores são próximos, demonstrando que a embarcação gerada pelo programa Ventum possui as características desejadas em um veleiro de regata. Ressalta-se que não era esperado os valores iguais, pois a ferramenta desenvolvida não tem o intuito de copiar os dados de uma embarcação real, mas obter valores e geometria que tenham as características da missão de uso desejada.

Seguindo as mesmas comparações realizadas no item anterior, a Figura 46 compara o plano de linha d'água entre o modelo e o cálculo deste trabalho.

Figura 46 – Comparação do plano de linha d'água (VO70)

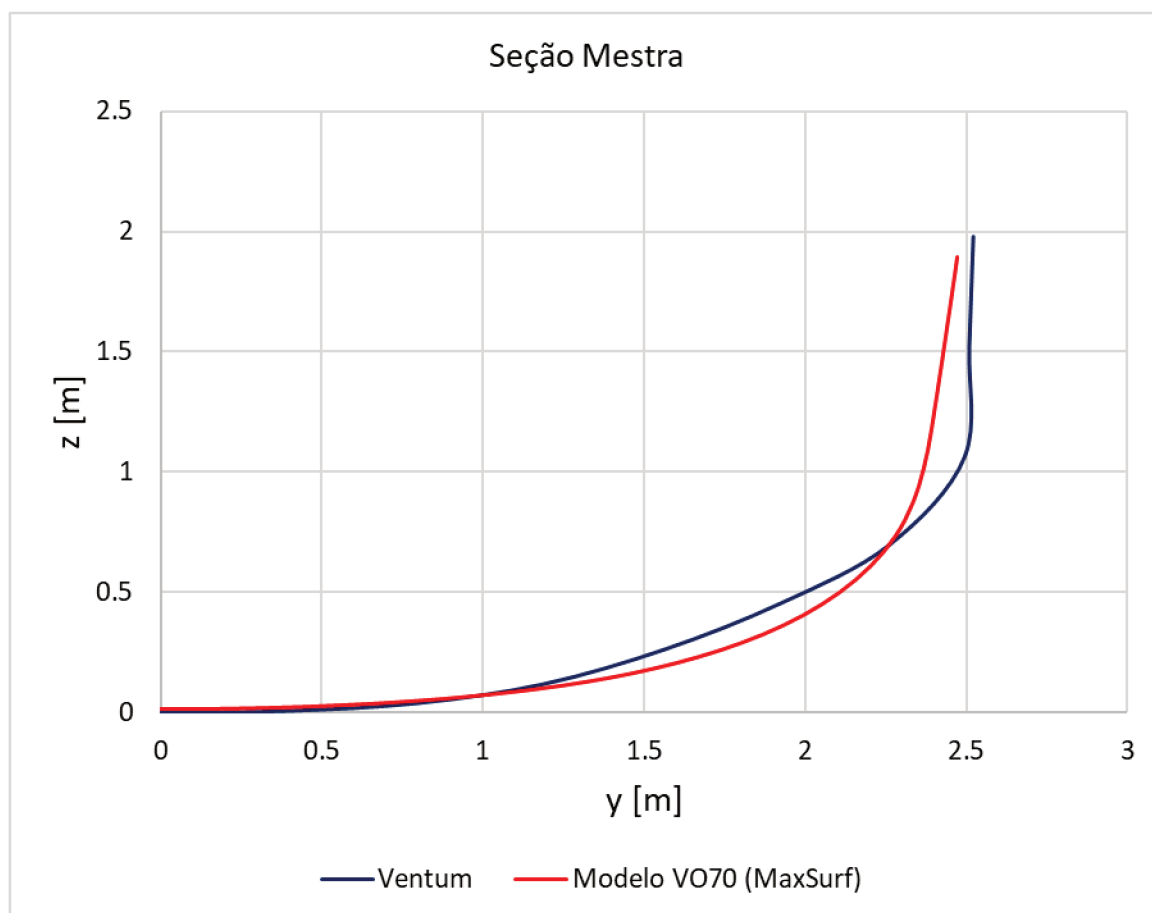


Fonte: Autoria Própria (2018)

Nesta comparação torna-se evidente a diferença comentada anteriormente, em que para o trabalho desenvolvido, a linha d'água resultante inicia no espelho de popa da embarcação, enquanto no casco modelo o plano de flutuação inicia logo após o espelho de popa.

A mesma análise pode ser feita com a seção mestra, apresentada na Figura 47, possuindo características similares no fundo do casco.

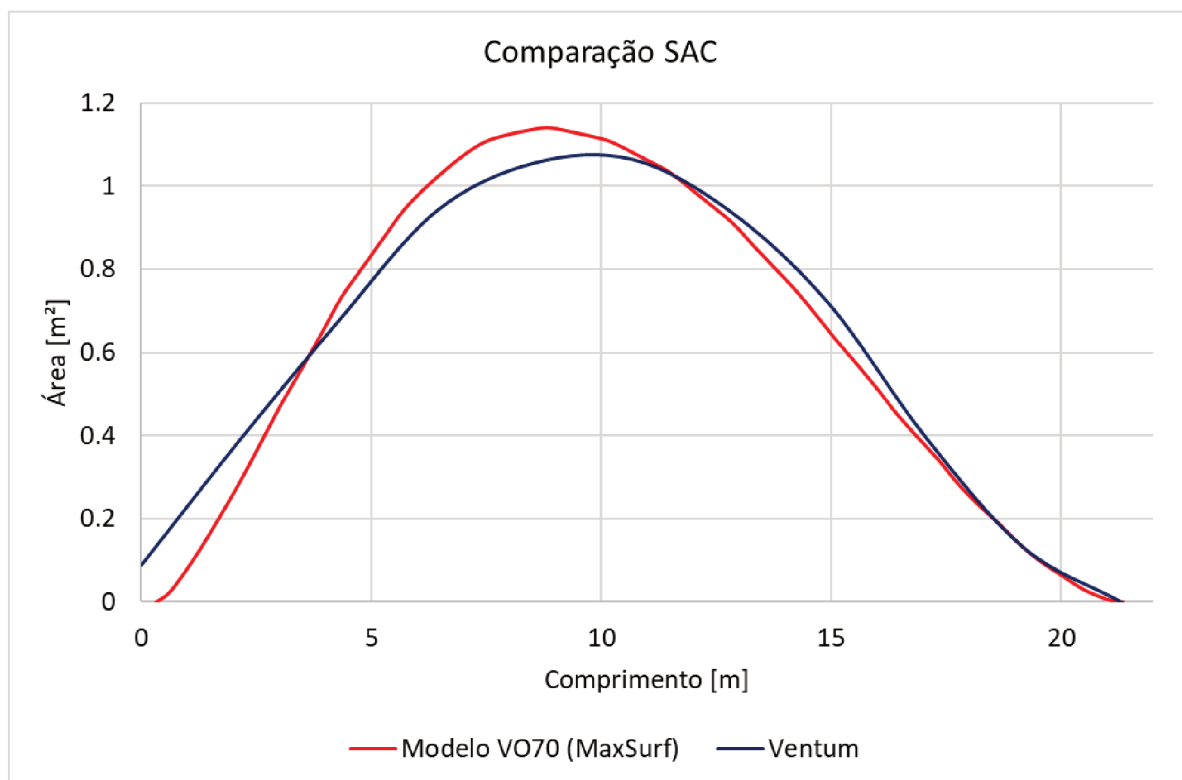
Figura 47 - Comparação da Seção mestra (VO70)



Fonte: Autoria Própria (2018)

Nas curvas de áreas seccionais, conforme Figura 48, nota-se a diferença nas áreas já apresentados na Tabela 15, assim como o resultado da localização da seção de maior área, que no caso do modelo do Volvo Open 70 possui sua maior área um pouco mais a ré, comparado ao resultado do programa Ventum, ressaltando que esta diferença é devido a tabela de cotas utilizada como referência e aos arredondamentos que são realizados nos cálculos do programa.

Figura 48 - Comparativo SAC (VO70)

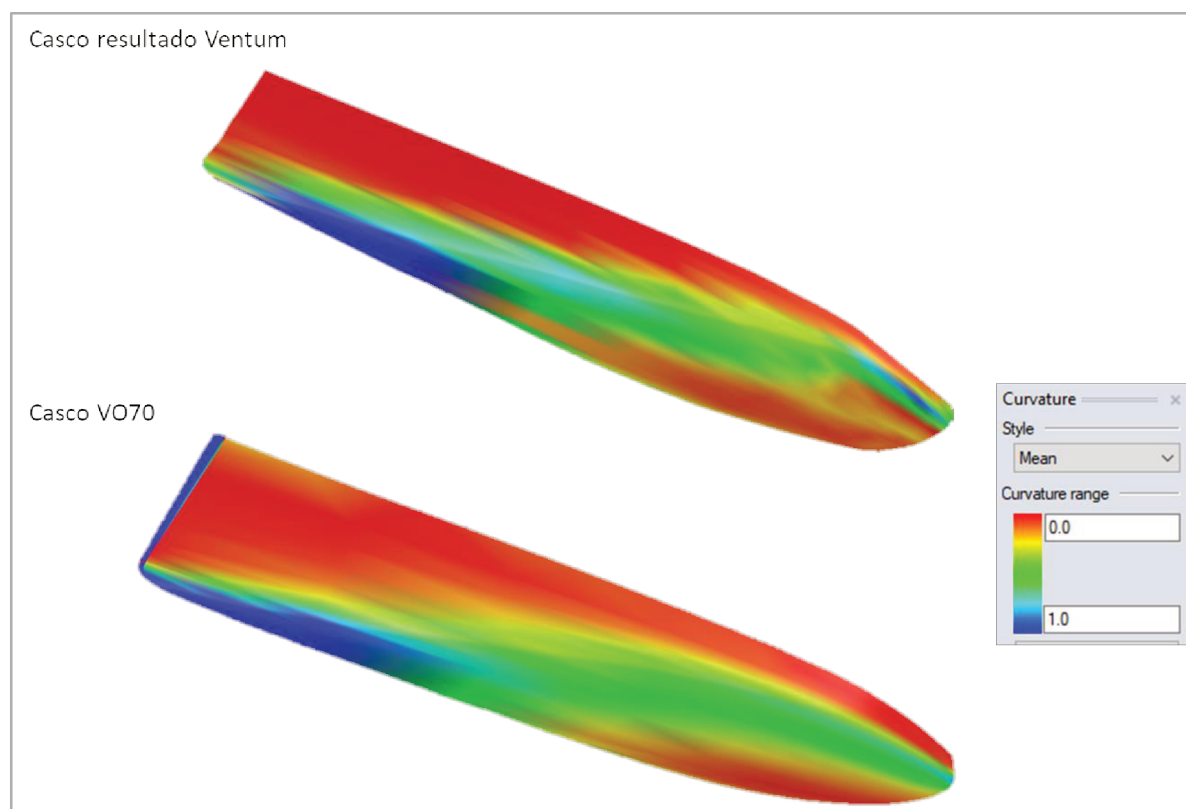


Fonte: Autoria Própria (2018)

Por fim, é realizado a comparativa das análises de curvaturas dos cascos, Figura 49, podendo notar a suavidade e continuidade no casco modelo Volvo Ocean Race VO70.

Nota-se que as características das curvaturas ao longo dos cascos são semelhantes, confirmando que a ferramenta proposta por este trabalho pode fornecer embarcações com as propriedades de um casco de competição. Similar ao caso anterior, as regiões em azul representam as regiões com menores raios de curvatura, e em vermelho as regiões de maior raio de curvatura.

Figura 49 - Análise de curvatura entre casco VO70 e de Resultado da ferramenta proposta



Fonte: Autoria Própria (2018)

Com estes resultados, verifica-se que o usuário poderá obter em seu início de projeto bons resultados para prosseguir nos passos seguintes em uma espiral de projeto de embarcação.

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou o desenvolvimento e a proposta de uma ferramenta computacional para gerar tabela de cotas para veleiros, considerando sua missão de navegação, visando sua utilização por acadêmicos em desenvolvimento de projetos de veleiros.

Após estudo de cascos atuais, com as propriedades requeridas tanto para regata quanto para navegação de cruzeiro, desenvolveu-se cascos base para a implementação da ferramenta.

Após a implementação dos pontos e das funções necessárias para a realização dos cálculos e desenvolvimento de um novo casco, com suas metodologias de cálculos utilizadas foram todas verificadas na literatura, para que a fundamentação do trabalho seja sólida e confiável. Após a execução dos cálculos a ferramenta possibilita ao usuário salvar uma tabela de cotas para seu projeto e um relatório informando os dados e valores calculados.

A interface gráfica-usuário foi desenvolvida pensando na facilidade de inserção de dados e de maneira a ser intuitiva, possibilitando uma visualização prévia dos resultados hidrostáticos e linha de casco do projeto. As cores selecionadas na interface foram trabalhadas para haver harmonia na utilização do programa, de maneira a evitar a poluição visual na tela.

Destaca-se a possibilidade de o usuário ter a opção de ajuda dentro da ferramenta, ser redirecionado para a página do repositório em que se encontra este trabalho e fornecer sugestões, opiniões e informar possíveis erros da ferramenta em um formulário online.

Verificou-se a necessidade de inserção de balizas intermediárias nas regiões de popa e proa do casco para uma melhor definição de suas curvaturas.

Com a análise dos resultados comparando com a literatura e com uma embarcação real, verifica-se que a ferramenta proposta apresenta valores coerentes e abaixo de 15% de diferença em relação as outras ferramentas e pode ser utilizada para o desenvolvimento inicial de projetos de veleiros, de regata ou cruzeiro, para fins acadêmicos e de pesquisa, possibilitando também reproduzir a embarcação de Larsson e Eliasson (2014).

A ferramenta proposta por este trabalho, “Ventum”, estará disponível para baixar no site do LabNaval - Laboratório de Modelagem e Construção Naval do Centro Tecnológico de Joinville da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC-CTJ).

7 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Abaixo são destacados possíveis trabalhos futuros que poderão ter como base este apresentado.

- Implementação do estudo de estabilidade transversal;
- Implementação de cálculos estruturais na ferramenta;
- Implementação de projeto dos apêndices de um veleiro (Mastreação, quilha, leme)
- Análise do desempenho de uma série de cascos gerados pela ferramenta;
- Desenvolvimento de um algoritmo para Rhinoceros, através do Python Script, com o intuito de modelar casco a partir da tabela de cotas automaticamente.

REFERÊNCIAS

- AMERICA'S CUP. **America's Cup. Yacht race and trophy.** Disponível em: <<https://www.britannica.com/topic/Americas-Cup>>. Acesso em: 20 nov. 2017.
- AMERICAN SAILING ASSOCIATION. **Sailing made easy.** Los Angeles: America Sailing Association, 2010.
- _____. **History of the Yacht** (Part 1) (2017). Disponível em: <<https://asa.com/news/2017/12/16/history-of-the-yacht/>> Acesso em 03 nov. 2018
- CHEVALIER. **Comanche.** 2014. Disponível em: <<http://sailingtrivia.ravenyachts.fr/2014/10/comanche-2014.html>> Acesso em: 16 nov. 2017.
- FONSECA, M. **Arte Naval.** 7. ed. Serviço de Documentação da Marinha, 2002
- FOSSATI, F. **Aero-Hidroynamics and the performance of sailing yachts.** International Marine/McGraw-Hill, 2009.
- HALPERN, S. **Finding the Apparent Floatation Pivot Point (AFPP).** Disponível em: <http://www.titanicology.com/Titanica/Finding_the_AFPP.pdf>. Acesso em: 03 nov. 2018
- ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION 12215-5. **Small craft - Hull construction and scantlings - Part 5: Design pressures for monohulls, design stresses, scantlings determination.** 2008
- J-CLASS. **J-Class Yacht.** Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/J-class_yacht>. Acesso em 20 nov. 2017
- KIMBALL, J. **Physics of sailing.** New York: Taylor and Francis Group, 2009.
- KEMP, P. **The Oxford Companion to Ships and the Sea.** 2. ed. Oxford: Oxford University Press, 1979.
- KMENT JUNIOR, L. C. **Veleiros - Uma abordagem Sociológica.** Disponível em: <https://acervo.popa.com.br/docs/cronicas/veleiros_luis_kmentt_jr.htm>. Acesso 01 nov. 2018
- LARSSON, L.; ELIASSON, R. **Principles of yacht design.** 2. ed. Londres: Adlard Coles Nautical, 2000.
- _____.; _____.; ORYCH, M. **Principles of yacht design.** 4. ed. Londres: Adlard Coles Nautical, 2014.
- LETCHER, J.; **The Principles of Naval Architecture Series: The geometry of Ships.** Jersey City: The Society of Naval Architects and Marine Engineers:
- LEWIS, E. **Principles of naval architecture.** 2. ed. Jersey City: The Society of Naval Architects and Marine Engineers, 1988

LOMAX, P. **VB & VBA in a nutshell: The language**. O'Reilly Media, 1998.

MATHIJSEN, D. **Designing boats for the Volvo Ocean Race: An ongoing process of Optimization and finding the right compromise**. Reinforced Plastics, 2017. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034361717304642?via%3Dihub>>. Acesso em: 20 nov. 2017

NORMAN 03. **Normas da autoridade marítima para amadores, embarcações de esporte e/ou recreio e para cadastramento e funcionamento das marinas, clubes e entidades desportivas náuticas**. Diretoria de Portos e Costas, Marinha do Brasil, 2003.

OTEN MARINE. **Centre of gravity and centre of buoyancy**. Disponível em: <<http://www.otenmaritime.com/stability/centre-of-gravity-and-centre-of-buoyancy>>. Acesso em 03 nov. 2018

PERRY, R. **Yacht design according to Perry: my boats and what shaped them**. New York: International Marine, 2008.

PORTAL SÃO FRANCISCO. **Barco a vela**. Disponível em: <<http://www.portalsaofrancisco.com.br/curiosidades/barco-a-vela>>. Acesso em: 05 nov. 2017.

REEKIE, S. **Sailing made simple**. Champaign: Leisure Press, 1987.

SLOOF, J.W. **The Aero- and Hydromechanics of Keel Yachts**. Springer International Publishing. 2015

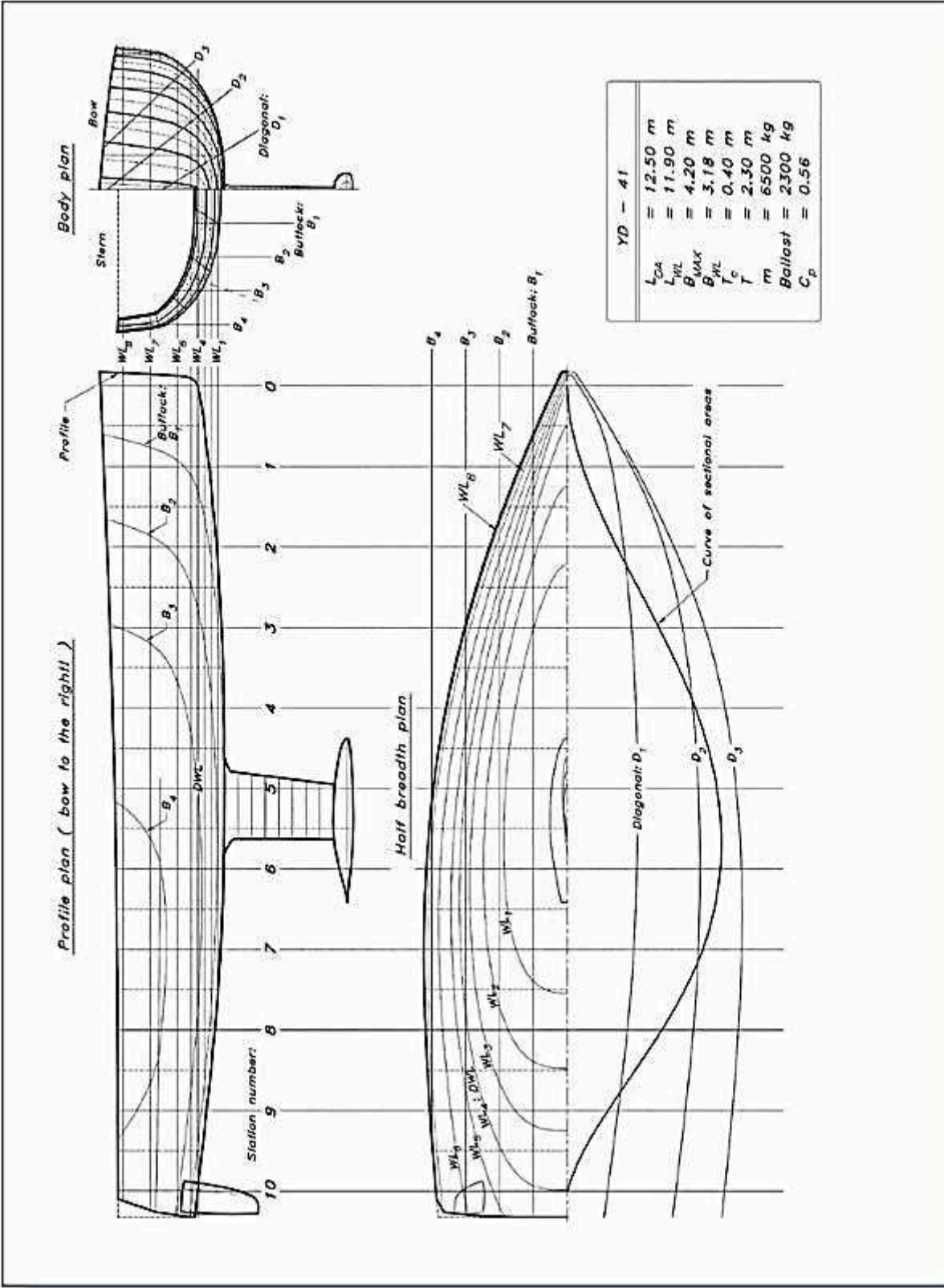
TUPPER, E. **Introduction to naval architecture**. 4. ed. Elsevier Ltda. 2004

UNIVERSAL RULE. **Universal Rule**. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/Universal_rule>. Acesso em: 20 nov. 2017.

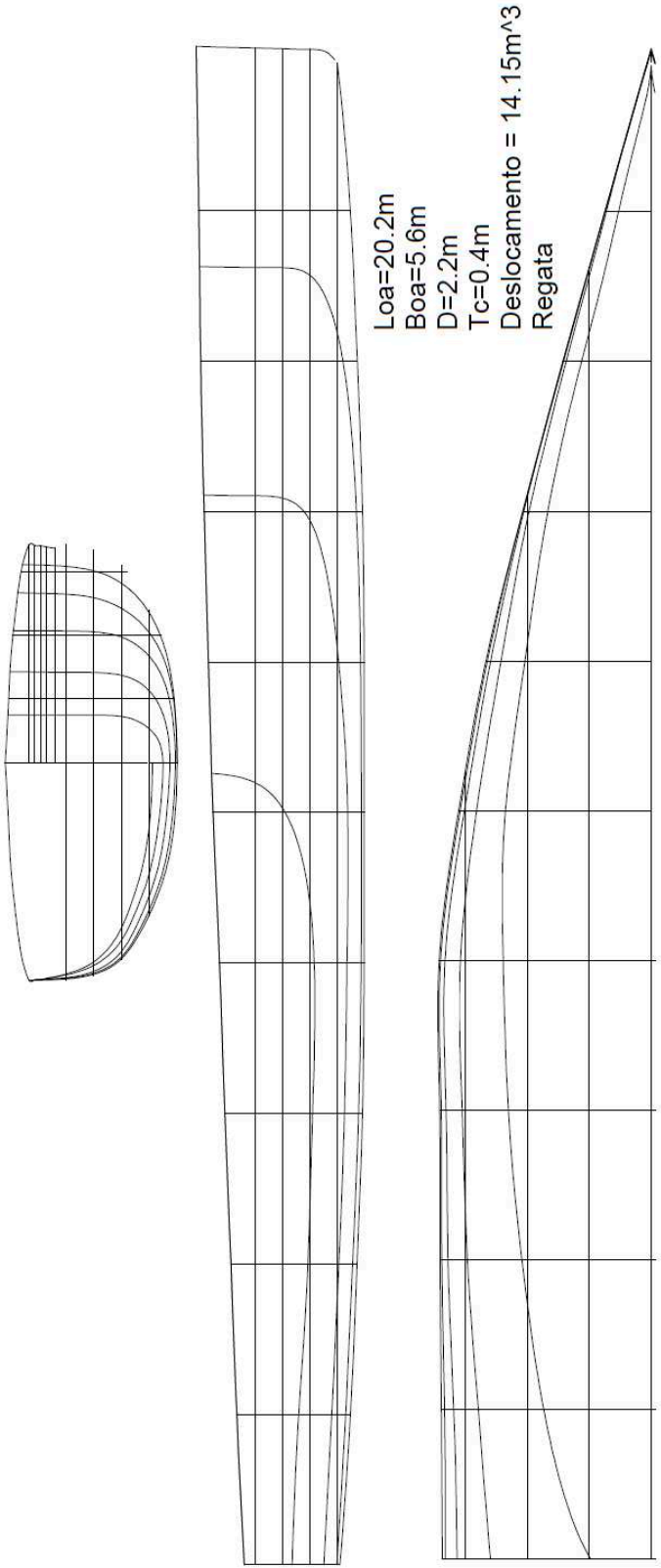
VOLVOOCEANRACE. **The Volvo Ocean 65**. Disponível em: <http://www.volvoceanrace.com/en/boat/36_The-Volvo-Ocean-65.html>. Acesso em: 11 out. 2017.

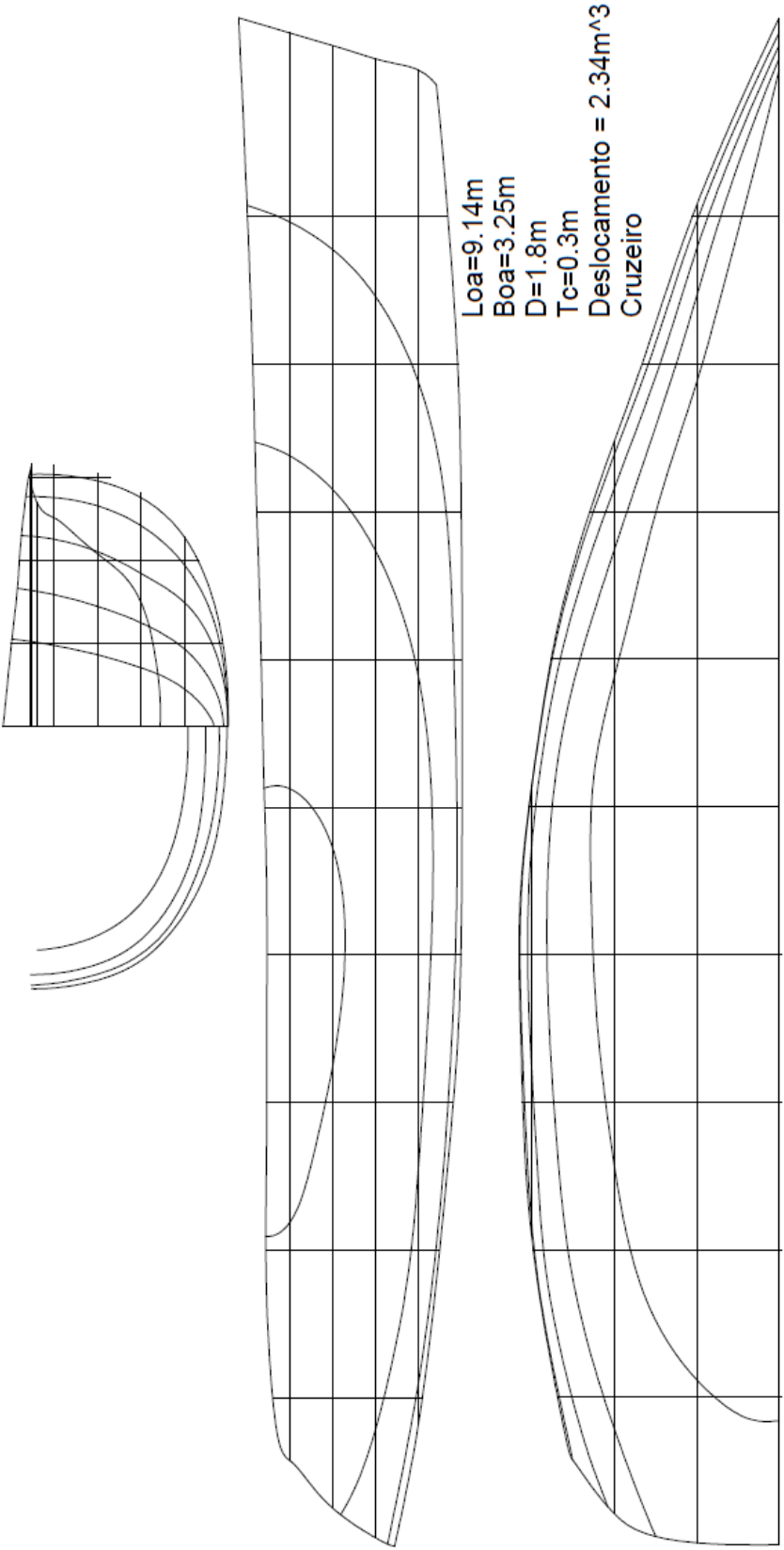
_____. **How much faster can they go?** Disponível em: <https://www.volvoceanrace.com/en/news/7446_How-much-faster-can-they-go.html>. Acesso em: 25 out. 2018

ANEXO A – PLANO DE LINHAS DO CASCO YD-41



APÊNDICE A – PLANO DE LINHAS DOS CASCOS MODELO





APÊNDICE B – RELATÓRIO

RELATÓRIO DE PROJETO: Projeto Ventum

DIMENSÕES PRINCIPAIS

L_{oa}	20.160 m	L_{WL}	20.023 m
B_{OA}	5.600 m	B_{WL}	4.149 m
D	2.200 m	T_C	0.400 m

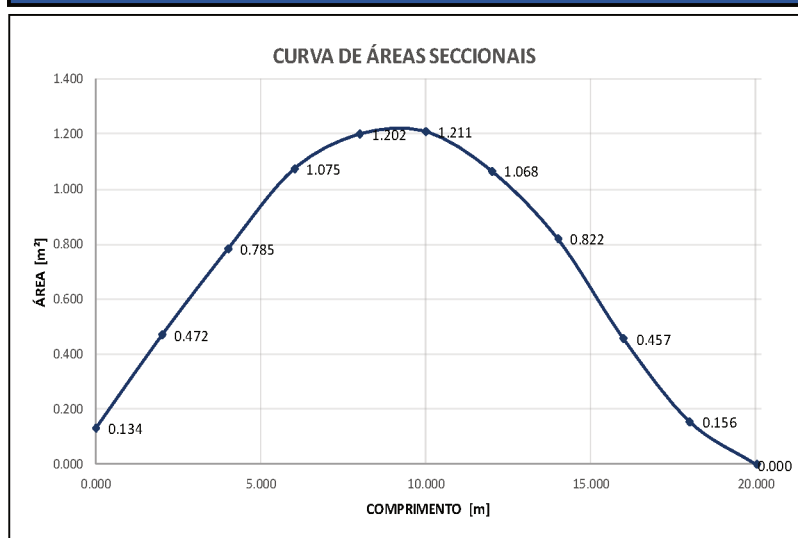
ÁREAS VOLUMES E CENTROS

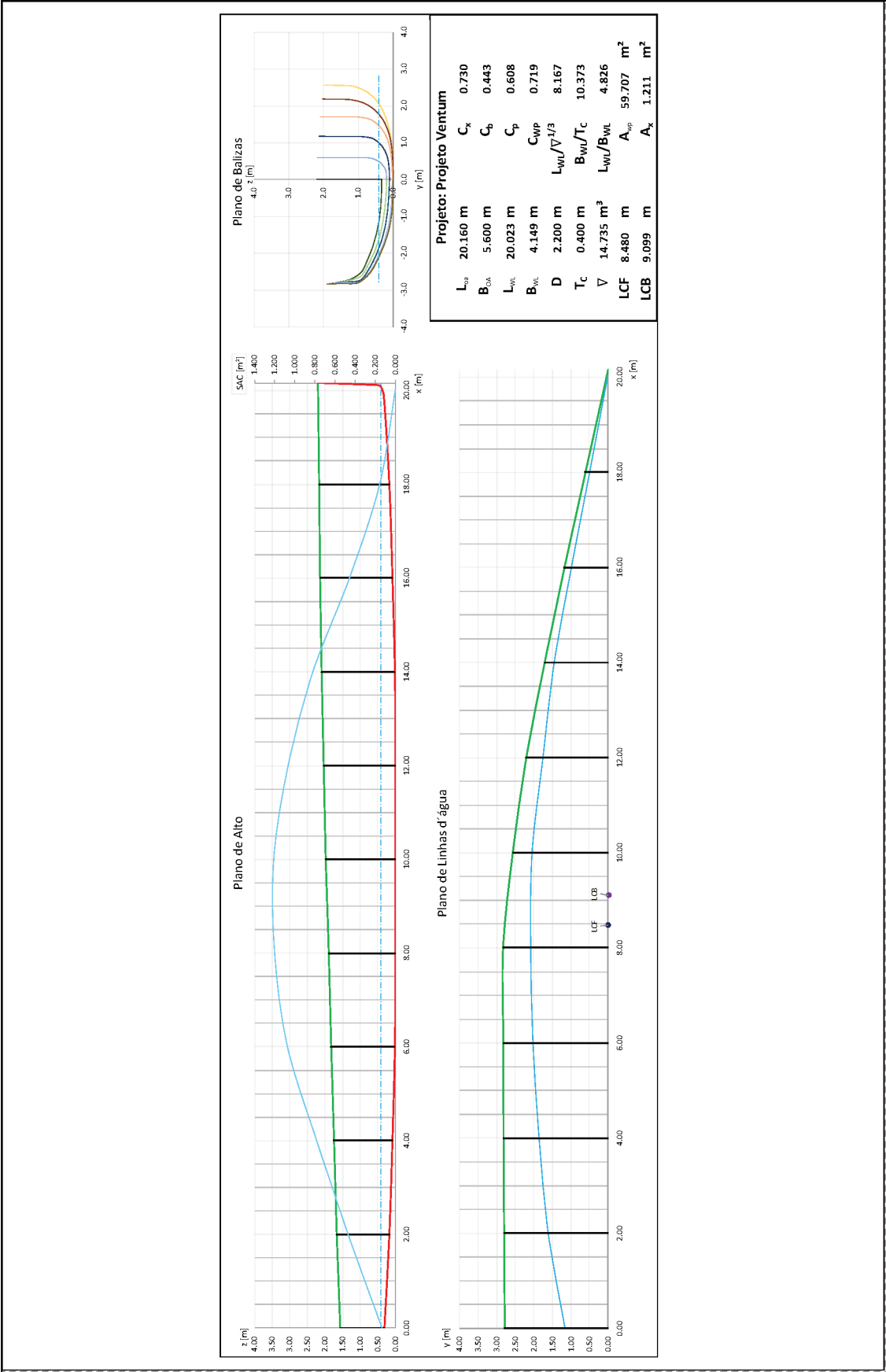
∇	14.735 m ³	A_x	1.211 m ²
A_{wp}	59.707 m ²	LCB	9.099 m
		LCF	8.480 m

COEFICIENTES DE FORMA E RELAÇÕES DIMENSIONAIS

C_x	0.730	$L_{WL}/\Delta^{1/3}$	8.167
C_b	0.443	B_{WL}/T_C	10.373
C_p	0.608	L_{WL}/B_{WL}	4.826
C_{WP}	0.719	L_{oa}/B_{oa}	3.600

CURVA DE ÁREAS SECCIONAIS





APÊNDICE C – FORMULÁRIO

Ventum - Projeto de casco de Veleiros

Página para sugestões, opiniões e informações de erros na ferramenta Ventum.

The name and photo associated with your Google account will be recorded when you upload files and submit this form.

O que você deseja?

- ☐ Sugestão
- ☐ Opinião
- ☐ Reportar um erro

NEXT

Never submit passwords through Google Forms.

Ventum - Projeto de casco de Veleiros

The name and photo associated with your Google account will be recorded when you upload files and submit this form.

Sugestões

Sugestões

Your answer

E-mail de contato (não obrigatório)

Your answer

BACK

SUBMIT

Never submit passwords through Google Forms.

Ventum - Projeto de casco de Veleiros

The name and photo associated with your Google account will be recorded when you upload files and submit this form.

Opiniões

Opiniões

Your answer

E-mail de contato (não obrigatório)

Your answer

BACK

SUBMIT

Never submit passwords through Google Forms.

Ventum - Projeto de casco de Veleiros

The name and photo associated with your Google account will be recorded when you upload files and submit this form.

Reportar um erro na execução da ferramenta

Reportar um Erro

Your answer

Imagem do Erro

[ADD FILE](#)

E-mail de contato (não obrigatório)

Your answer

BACK

SUBMIT

Never submit passwords through Google Forms.

APÊNDICE D – PASSO A PASSO PARA MODELAGEM EM RHINO

1. Abra o programa Rhinoceros com unidades em metros
2. Na linha de comando digite "Import"
3. Selecione "points" no tipo de arquivo
4. Selecione o arquivo "txt" contendo a tabela de cotas
5. Selecione "tab" como delimitador
6. Na linha de comando digite "Explode"
7. Selecione o conjunto de pontos de uma baliza
8. Na linha de comando digite "CurveThroughPt" Obs: Na linha de comando selecione "Degree=3; Type=Interpolated; Knots=Uniform; Closed=no"
9. Tecle enter
10. Faça os passos 6 e 7 para as demais balizas
11. Com todas as balizas desenvolvidas
12. Na linha de comando digite "SelCrv"
13. Na linha de comando digite "Loft"
14. Selecione "Tight"
15. Tecle Enter
16. Selecione a Superfície
17. Na linha de comando digite "Mirror"
18. Com a "Viewport top" selecionada
19. Na linha de comando "Start of Mirror Plane = 0, 0"
20. Na linha de comando "End of Mirror Plane = 1, 0"
21. Na linha de comando digite "MergeSrf"
22. Selecione as duas superfícies próximo do plano diametral.
23. O casco está modelado